



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V  
BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A  
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

**DESIGN VNĚJŠÍHO PLÁŠTĚ MOBILNÍHO  
ROBOTU**

DESIGN OF MOBILE ROBOT COVER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Pavel Bláha

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

BRNO 2019



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky  
Student: **Pavel Bláha**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Design vnějšího pláště mobilního robotu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Podstatou zadání je navrhnout design vnějšího pláště mobilního robotu, jehož CAD model je studentovi k dispozici. Alespoň koncepčně je třeba vypracovat několik návrhů, v různých stupních náročnosti (výrobní i finanční). Návrh musí respektovat vnitřní uspořádání robotu a rozmístění senzorů, musí umožňovat jednoduchý přístup k vnitřním komponentám robotu a umožnit chlazení výkonové části.

### Cíle bakalářské práce:

1. Navrhněte v 3D modeláři několik koncepcí vnějšího pláště mobilního robotu.
2. Návrhy musí respektovat vnitřní uspořádání robotu a rozmístění senzorů (laserový scanner, ultrazvukové dálkoměry, nárazníky).
3. Vnější plášť musí mít vyřešené technologické náležitosti (výroba skořepiny, montážní otvory, upevnění na robot, atd.).

### Seznam doporučené literatury:

DIETER G., Engineering Design, McGraw-Hill Education; 5 edition, 2012

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.

ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá designem a konstrukcí vnějšího pláště mobilního robotu, který má sloužit k převážení nákladu. Na začátku této práce jsou stručně popsány různé technologie, kterými lze vyrobit plášť robotu. Součástí této práce je variantní studie designu, obsahující několik možných přibližných návrhů tvarů pláště robotu. Práce dále obsahuje výpočet zabývající se problematikou chlazení robotu. Výsledkem této práce je konstrukční řešení související s vhodně zvolenou technologií výroby, které musí splňovat předem zadané požadavky.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the design and construction of a mobile robot external casing. A robot could be used for transporting cargo. At the beginning of this thesis, there are briefly described technologies, which can be used to produce a robot casing. Part of this thesis is the variant design study, showing few possible rough plans of robot casing shapes. The thesis also includes a calculation dealing with the problem of robot cooling. Result of this thesis is a constructional solution related to suitably chosen production technology. The constructional solution has to comply with predefined requirements.

## **Klíčová slova**

Robot, plášť, design, konstrukce

## **Keywords**

Robot, casing, design, construction

## **Bibliografická citace**

BLÁHA, Pavel. *Design vnějšího pláště mobilního robotu*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116774>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Krejsovi, Ph.D. za pomoc při tvorbě této práce.

## **Prohlášení autora o původnosti**

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod odborným vedením doc. Ing. Jiřího Krejso, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

V Brně, dne 22.5.2019

Podpis autora .....

# Obsah

Úvod .....	9
Přehled současného stavu poznání .....	10
Laminátové díly .....	10
Díly vyrobené technologií 3D tisku .....	10
Plechové díly .....	11
Plastové výlisky .....	12
Vakuově tvářené plastové díly .....	14
Analýza problému a cíl práce .....	15
Analýza problému .....	15
Cíl práce .....	15
Koncepční řešení – variantní studie designu .....	16
Varianta 1 .....	16
Varianta 2 .....	17
Varianta 3 .....	18
Teplotní bilance .....	20
První část výpočtu .....	20
Druhá část výpočtu .....	24
Konstrukční řešení .....	28
Prvky sloužící k chlazení .....	28
Bezpečnostní prvky - zakrytí kol .....	28
Montáž a demontáž vnějšího pláště .....	29
Montáž ultrazvukových senzorů .....	31
Výrobitelnost .....	33
Technologie výroby .....	34
Rozvaha o cenách v závislosti na počtu vyrobených kusů .....	34
Doba výroby .....	36
Závěr .....	38
Seznam použitých zdrojů .....	39
Seznam obrázků a grafů .....	41
Seznam příloh .....	42



# Úvod

Tématem této práce je design vnějšího pláště mobilního robotu. Robot má sloužit k převážení nákladu. Má být schopný samostatně jezdit a reagovat na své okolí pomocí senzorů. Na obrázku 1 je robot bez pláště.

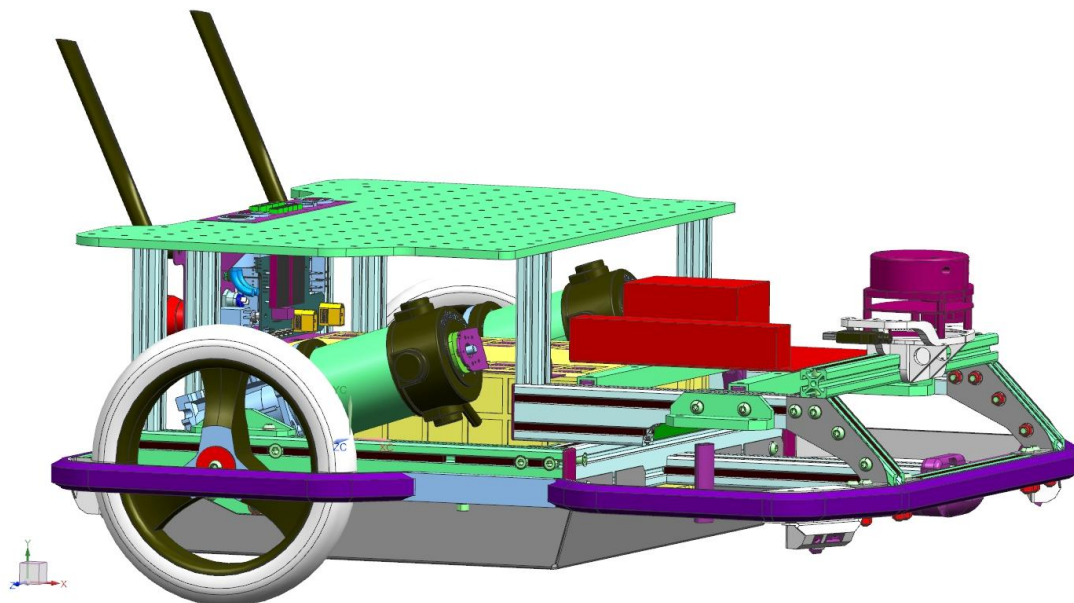
Prvním krokem bude navržení několika přibližných tvarů pláště. Tvar pláště je částečně předem daný určitými podmínkami. Hlavní proporce jsou ovlivněny umístěním a tvarem součástí robotu; především nárazníků, desky sloužící k upnutí nákladu, zadních kol a lidarů v přední části.

Plášť nesmí přesahovat nárazníky obsahující senzory, které by jinak ztratily svoji funkci. Nesmí zmenšovat zorné pole lidarů. Zadní kola by mohla způsobit zranění, a proto je důležité, aby byla dostatečně zakrytá. Z těchto důvodů je množství možných tvarů pláště robotu značně omezeno.

Bude vybrán jeden návrh s přihlédnutím k technologii výroby pláště. Ta musí být vhodně zvolená, aby se vybraný tvar po úpravách dal bez větších komplikací vyrobit. Každá technologie má jiná omezení a jiné možnosti, takže je nutné jí částečně přizpůsobit tvar. Cena výroby jednoho kusu, která může být ovlivněna množstvím vyráběných kusů, závisí především na vhodně zvolené technologii výroby.

Konstrukce pláště je spojena s dalšími problémy, jako je montáž. Plášť by nemělo být složité přimontovat ke kostře robotu a stejně tak i odmontovat. Zároveň by ale měl plášť zabránit nepovolanému člověku snadno se dostat k vnitřním součástem robotu. Měl by umožnit dostatečné samovolné proudění vzduchu kolem součástí produkujících teplo, aby nemohlo dojít k jejich přehřátí, a mělo by se na něj dát umístit 10 ultrazvukových senzorů, nebo by alespoň plášť neměl bránit jejich funkčnímu umístění.

(na obrázku 1 je model mobilního robotu poskytnutý firmou Bender Robotics)



Obrázek 1

## **Přehled současného stavu poznání**

### ***Laminátové díly***

Laminování je metoda používaná především pro malé a střední série. Laminováním lze vyrábět velké množství odlišných skořepinových dílů, které mohou být tvarově velmi složité. Laminát je kompozit skládající se z vrstev tkaniny slepených pryskyřicí. Tkanina může být například skelná, nebo karbonová. Výhodou laminátu je, že má dobré mechanické vlastnosti.

K laminování je potřeba mít jednoduchou formu. Ta může být vyrobená buď ručně, anebo může být vyfrézována. Vhodné materiály pro výrobu takové formy mohou být například polystyrén, umělé dřevo, přírodní dřevo, sádra, hliník, a některé další. Forma by měla být před laminováním natřená separátorem, něčím co nedovolí přilepení pryskyřice k formě. Na takto ošetřenou formu se přiloží první vrstva tkaniny a potře se pryskyřicí. Tkanina tak přilne k formě. Stejným způsobem se přidá i několik dalších vrstev, podle druhu výrobku. Vrstvy tkaniny by se na sebe měly přikládat tak, aby vlákna byla natočená různými směry. Vlákna mají totiž velkou pevnost v tahu a pro většinu aplikací je vhodné, aby měl výrobek podobné mechanické vlastnosti ve všech směrech.

K odstranění bublin a přebytečné pryskyřice se používá vakuování. Bubliny mohou vznikat mezi vrstvami tkaniny, nebo mezi tkaninou a formou. Alternativou vakuování je použití oboustranné formy. Místo druhé strany formy lze ještě vrstvy tkaniny přitlačit k sobě pomocí tlakového vzduchu působícího přes elastickou fólii. Bubliny v laminátu mohou být koncentrátoři napětí, mohou způsobovat tvarové nepřesnosti, například pokud na některém místě při výrobě nedolehne tkanina až na formu, a mohou zhoršovat kvalitu povrchu.

Výrobek musí mít vhodný tvar, aby ho bylo možné po ztvdnutí pryskyřice vyjmout z formy. Pokud má mít výsledný výrobek tvar, který nelze vyndat z formy bez deformace, tak je možné vyrobit ho po částech, které se slepí. Okraje výrobku vyjmutého z formy je potřeba ořezat na požadovaný tvar.

Díly, které mají být vyráběny laminováním, není vhodné navrhovat s ostrými hranami a vrcholy, protože ty komplikují vrstvení tkaniny při výrobě. Vhodnější je navrhovat díly, které mají velká zaoblení, pokud je to možné.

Laminování je metoda náročná především na lidskou práci, protože většinu úkonů je nutné dělat ručně. Kvalita výsledného výrobku je závislá také na zručnosti pracovníka. To jsou hlavní důvody, proč se laminování příliš nepoužívá ve větších sériích.

Výrobek vyndaný z formy se dále ještě může upravovat broušením a natřením další vrstvy pryskyřice. To lze opakovat vícekrát, dokud nebudou odstraněny všechny případné povrchové vady. Jako konečnou povrchovou úpravu je možné použít lak, nebo vhodnou barvu.

### ***Díly vyrobené technologií 3D tisku***

Princip technologie 3D tisku je založený na postupném přidávání materiálu. Koncepce většiny tiskáren je manipulátor schopný se pohybovat translačně ve třech vzájemně kolmých

osách. Vzájemná translace konce manipulátoru a stolu může být v některých osách realizována i pohybem stolu. Na konci manipulátoru může být tavná tryska dodávající materiál, nebo v případě natavování prášku může na konci manipulátoru být cokoliv vhodné co je schopné daný prášek v lokálním místě natavit.

Technologie 3D tisku umožňuje tisknout velké množství tvarů. Touto technologií lze vyrábět dokonce takové tvary, které by téměř nebylo možné vyrobit jinou technologií, například různé dutiny a různě zatočené díry. 3D tisk konkrétního výrobku nevyžaduje speciální přípravky ani nástroje, pouze 3D tiskárnu. Proto je tato technologie vhodná pro výrobu prototypů, pro kusovou výrobu, a pro malosériovou výrobu.

3D tisk má ale i své nevýhody a omezení. Problém tisknutí převisů, výčnělků do strany, stropů dutin a podobných útvarů je u technologie 3D tisku plastů poměrně zvládnutý s využitím tisknutí pomocného materiálu, který je po procesu tisknutí od výrobku oddělen.

Hlavním důvodem, proč se 3D tisk stále nevyužívá ve velkosériové výrobě je pravděpodobně dlouhý čas výroby jednoho kusu, který ani v budoucnu nebude možné výrazně snížit. Od času se odvíjí i cena tisku, i když některá pracoviště umožňující 3D tisk si cenu volí podle množství použitého materiálu, protože mezi časem a množstvím použitého materiálu je u technologie 3D tisku přibližně přímá úměra. I přes to je cena 3D tisku velmi výhodná proti cenám většiny ostatních technologií výroby, pokud se jedná o malou sérii výrobků.

Další nevýhodou 3D tisku jsou největší rozměry výtisku, které jsou omezeny rozměry 3D tiskárny. Velké výtisky vyžadují velké tiskárny, kterých je ale méně. Tento problém pravděpodobně bude v budoucnu vyřešen.

Poslední větší nevýhodou 3D tisku plastů jsou mechanické vlastnosti výrobků, které pravděpodobně nikdy nebudou tak dobré jako mechanické vlastnosti kvalitnějších výrobků vyrobených například technologií vstřikování plastů do forem. Důvodem jsou polymerní řetězce, ze kterých se plast skládá. V případě 3D tisku nemůžou polymerní řetězce volně prostupovat napříč celým materiálem výrobku, ale jsou umístěny v omezeném prostoru ohraničeném kraji lokálního natavení v době přidávání materiálu.

Použití technologie 3D tisku kovů má trochu odlišné výhody a nevýhody, ale pro výrobu vnějšího pláště tohoto robotu není příliš vhodné.

## ***Plechové díly***

Mezi malosériové technologie výroby pláštů nejméně náročné na přípravu výroby určitě patří řezání a ohýbání plechových dílů. Stroje a nástroje pro výrobu plechových dílů, například laserový řezací stroj a ohýbačka plechů, se v současné době, na rozdíl například od 3D tiskáren, dají najít na mnoha pracovištích. Kusová výroba plechových dílů není vůči ostatním technologiím příliš nákladná. Sériová výroba už může být finančně náročnější, protože může vyžadovat složitější nástroje, například nástroje pro postupové stříhání. Postupové stříhací nástroje musí být vyrobeny z materiálu s dobrými mechanickými vlastnostmi a pro každý tvar výstřižku musí mít stříhací nástroj specifický tvar, který může být složité vyrobit. Z těchto důvodů jsou podobné nástroje drahé a vyplatí se, pouze pokud má být počet výstřižků dostatečně velký.

K 2D laserovému řezání jsou potřeba narýsované obrysy rozvinutého dílu, například ve formátu DWG. Podle těchto dat se naprogramuje dráha laseru, která je zprostředkována dvěma

vzájemně kolmými vodorovnými translacemi. Programování dráhy laseru má svá pravidla, například nejdříve se v rozvinu dílu vyřezávají díry a až potom vnější obrysy. Řezání laserem není jediný způsob řezání plechů, další způsoby jsou například řezání vodním paprskem, řezání kyslíkem, nebo plasmou. Ale řezání kyslíkem a plasmou je vhodné spíše pro řezání plechů s větší tloušťkou.

Návrh rozvinu plechového dílu závisí na poloměrech ohnutí a tloušťce plechu. Délka rozvinu ohnuté části plechu se vypočítá jako délka rozvinu neutrální plochy, kde neutrální plocha je množina bodů, ve kterých při ohýbání nepůsobí normálové napětí (je to hranice tahové a tlakové oblasti). Pro slabě zakřivené plechy je poloha neutrální plochy přibližně uprostřed tloušťky plechu, ale pro silně zakřivené plechy se tato plocha posouvá směrem do tlakové oblasti.

Ohýbání plechů má i další problémy, například technologické. Při ohýbání se musí počítat s odpružením, které nastává vždy, když přestane působit ohýbací moment nástroje. Odpružení je způsobeno odezněním elastické deformace. Dalším problémem je, že ne všechny díly je možné ohnout na jednoduché ohýbače plechů. Při ohýbání na takové ohýbače záleží na pořadí jednotlivých ohnutí, protože její čelisti jsou schopny uchytit pouze rovné plochy. K výrobě složitějších dílů jsou potřeba jiné nástroje.

Na běžné ohýbače plechů lze ohýbat plechy pouze na relativně malé poloměry. Velké poloměry bývají u ohýbání plechů problém. Něco co se zdánlivě podobá velkému poloměru lze vytvořit velkým množstvím malých ohybů, při bočním pohledu na ohyb jde o vytvoření části pravidelného mnohoúhelníku. Druhou možností je použití zakružovačky na plechy, která ale nebývá příliš obvyklou výbavou mnoha pracovišť.

Tyto problémy s ohýbáním částečně ovlivňují výsledný design plechového krytu. Bylo by vhodné, aby se navrhovaný tvar skládal především z rovných ploch a malých přechodových poloměrů mezi nimi. Plechový kryt by se měl dále skládat z dílů, které lze bez technologických komplikací ohnout do výsledného tvaru. To znamená, že celý plášť pravděpodobně nebude vhodné vyrobit z jednoho kusu plechu. Více dílů ale může být spíše výhodné, protože to může usnadnit demontáž krytu za předpokladu, že není nutné odmontovat celý plášť.

Podle prostředí a použití robotu by bylo dále dobré vhodně zvolit materiál plechu a jeho povrchovou úpravu. Jako materiál by se dal použít ocelový plech, nerezový plech, nebo hliníkový plech. Povrchová úprava by byla důležitá hlavně při volbě ocelového plechu. Ten by se dal například pozinkovat, nalakovat, nebo natřít barvou. Použití barvy by bylo zvláště vhodné, pokud by barvy měly souviset s výsledným designem.

Na okraje plechů by se dal navléknout gumový profil. Okraje plechu mohou být po výrobě ostré a člověku, který by s robotem manipuloval, by mohlo hrozit pořezání. To by se dalo řešit odjehlením okrajů plechu, ale gumový profil by tento problém řešil stejně dobře. Navíc by gumový profil mohl mít i estetickou funkci.

## ***Plastové výlisky***

Vstřikování do formy je velmi produktivní metoda výroby plastových výrobků, která umožňuje vyrábět velké množství tvarů výrobků s dobrými mechanickými vlastnostmi a s velkou přesností. Díl vyrobený touto technologií lze identifikovat například podle vtoku.

Největší nevýhodou této metody výroby je složitost nástroje. Nástrojem je v tomto případě forma obsahující velké množství dílů a kromě jiného třeba i pohyblivé mechanismy, které mohou být v některých případech komplikované. Dále musí forma obsahovat díly vyrobené z kvalitních materiálů, které musí mít specifické vlastnosti související s teplotním i mechanickým namáháním formy.

Díly tvořící formovací dutinu mohou být značně složité, podle tvaru daného výlisku, a výroba takových dílů je energeticky, časově a finančně náročná. Tvar dutiny se nemusí nutně skládat pouze ze dvou stran formy, ale může být tvořen i jádru umožňujícími výrobu tvarů, které by nebylo jinak možné po zalisování vyndat z formy. Forma může obsahovat i další prvky, které by zvyšovaly komplikovanost formy, jako například systém chladících kanálů, nebo vyhazovače.

Každý tvar výlisku vyžaduje specifickou formu. Totožných forem se ale ve většině případů vyrábí malé množství, protože každá forma je schopná vyrobit velké množství výlisků. To znamená, že téměř není možné formy vyrábět sériově a od toho se odvíjí i vysoká cena komponent používaných výhradně jako součásti forem. Všechny tyto faktory uvedené výše a některé další přispívají k růstu výsledné ceny forem.

Princip této technologie je poměrně jednoduchý. Roztavený plast je tlakem vstříknut do dutiny s přibližným tvarem výsledného výrobku. To je ale spojeno s některými problémy, například s teplotní roztažností plastů. Při chladnutí se plast smršťuje, a proto musí mít dutina větší objem, než má být výsledný objem výrobku. Dalším problémem je, že se může chladnoucí výrobek smršťovat v různých směrech různým způsobem, a to může vést ke zkroucení výrobku. To znamená, že dutina musí být předem zkroucená v opačném smyslu. U některých výrobků může být požadována velká přesnost, takže při navrhování tvaru dutiny se musí počítat s tímto chováním tuhneícího plastu.

Dále se musí počítat i s jinými problémy, jako jsou například vady. Na povrchu mohou vznikat propady. To je možné řešit například odlehčením materiálu na tvaru výrobku v místě propadu. Uvnitř mohou vznikat staženiny. Ty vznikají, pokud materiál tuhne postupně z okraje směrem dovnitř a není cesta, kudy může být ke středu při tuhnutí dodáván tekutý materiál. Studené spoje vznikají, pokud se z opačného směru stékají dva proudy plastu. Například pokud plast musí obtéct překážku a na opačné straně se spojit. Na čele proudu je hrnutý chladnější materiál, který příliš brzy po spojení proudů tuhne, a nemůže proto dojít k dostatečnému vzájemnému slití polymerních řetězců. Výsledkem je místo s horšími mechanickými vlastnostmi. Podobných problémů spojených s formováním plastů a podobných vad je více, ale v této práci se jimi zabývat nebudu.

Výhody forem na vstřikování plastů ale v mnohém převyšují nevýhody, pokud jde o velkosériovou výrobu. Vysokou cenu formy lze snadno rozdělit do relativně malých cen velkého množství výlisků. Prodejem těchto výlisků se snadno zaplatí cena formy, plastu použitého k výrobě, energie potřebné pro provoz lisu, práce obsluhy lisu a dalších výdajů. Proto patří vstřikování plastů mezi jednu z nejlevnějších velkosériových technologií výroby. Podmínkou ale je, že se vyrobí velké množství výrobků, které se následně prodá. To se ale dá využít jen v některých odvětvích průmyslu, například v automobilovém průmyslu.

Pro výrobu pláště tohoto mobilního robotu je metoda výroby pomocí vstřikování plastů do formy téměř nepoužitelná, protože se bude jednat pouze o malou sérii. Po přepočtení ceny formy na jeden vyrobený kus by pravděpodobně byla cena jednoho výlisku nejvyšší v porovnání s ostatními možnými technologiemi výroby pláště uvedenými v této práci.

## ***Vakuově tvářené plastové díly***

Pro výrobu krytu se jako vhodná metoda nabízí vakuové tváření, protože tato metoda umožňuje výrobu skořepin. Polotovarem je folie vyrobená z termoplastu. Folie je upnutá vodorovně do rámu a ohřátá, například pomocí infračervené lampy. Tím termoplast změkne a stane se velmi plastický. Pod rámem je jednostranná forma. Když je folie dostatečně ohřátá (to se projeví jejím prověšením), rám se spustí na upínací stůl a z prostoru mezi folií a formou se odsaje vzduch. Tím folie získá tvar formy a po zchladnutí jí daný tvar zůstane.

Tato metoda je omezená pouze na vytažitelné tvary. Po zchladnutí plastu musí být možné výrobek oddělit od formy bez deformace.

Nevýhodou je, že produkty vyrobené touto metodou nemají ve všech místech stejnou tloušťku. Zjednodušeně řečeno největší tloušťku mají ta místa výrobku, kde se folie při spouštění rámu dotkne formy nejdříve, a nejmenší tloušťku mají ta místa výrobku, kde folie při odsávání vzduchu urazí největší dráhu (obvykle to bývají hrany a rohy). Proto je dobré vhodně zvolit tvar formy. Jestli je důležitější, aby měly větší tloušťku okraje, pak by měla mít forma tvar spíše dutiny, a jestli by bylo vhodnější, aby měla větší tloušťku spíše místa uvnitř plochy výrobku, a tuhost okrajů není tak důležitá, pak by měla mít forma spíše tvar kopyta.

Je možné tyto dvě varianty částečně zkombinovat a využít lepší vlastnosti z obou možností. Například kdyby folie byla formována z obou stran, z jedné strany kopytem s tvarem výrobku umístěným na desce a z druhé strany deskou s otvorem tvaru okraje výrobku. Vzduch by byl odčerpán z prostoru mezi folií a kopytem až po sevření folie mezi desky. To by mohlo umožnit hlubší tažení, i když i při této metodě dochází k výraznému ztenčování bočních stěn. Tato metoda ale vyžaduje složitější nástroj a výroba tohoto nástroje by se vyplatila pouze u větších sérií.

Ztenčování tloušťky stěny omezuje metodu vakuového tváření pouze na relativně malé hloubky tažení, které ale lze zvětšit volbou polotovaru s větší tloušťkou.

Tato metoda je vhodná pro velké série, protože se dá vyrábět více výrobků z jedné folie najednou při použití mnohonásobné formy. Tento proces lze ještě zefektivnit modifikací na kontinuální proces, kde polotovarem může být role dlouhé folie.

Na druhou stranu je tato metoda použitelná i pro malé série, protože nevyžaduje příliš složitý speciální nástroj, pouze kopyto. Kopyto může být například vyfrézováno z hliníkového bloku přímo podle 3D modelu v případě složitějších tvarů. Potom už je nutné jenom vhodně zvolit, kde budou umístěny kanálky pro odvádění vzduchu, aby nemohlo dojít ke vzniku bublin. U malých sérií ani není nutné mít specializovaný nástroj pro vystřihování hotových výrobků z folie, protože se to dá udělat i ručně s využitím jednoduššího nástroje. To u velkých sérií téměř není možné.

# **Analýza problému a cíl práce**

## ***Analýza problému***

V řešební části této práce jsou stručně popsány různé technologie, kterými by se dal vyrobit plášť robotu. Zvolení vhodné technologie výroby bude mít vliv především na výrobní cenu pláště a částečně i na jeho výsledný tvar.

Plášť nesmí překážet senzorům robotu v potřebném rozhledu, především lidar, který může být schopný snímat i prostor za robotem. Plášť nesmí přesahovat nárazníky robotu, aby byl případný první kontakt robotu s překážkou na nárazníku. Plášť by měl dále zakrývat vnitřní součásti robotu a bránit nepovolaným osobám jednoduše se k nim dostat.

Velkým problémem souvisejícím s pláštěm robotu může být přehřívání některých jeho vnitřních součástí. Plášť by neměl příliš bránit jejich chlazení, proto by měl mít větrací otvory umožňující dostatečné proudění vzduchu. Součástí pláště musejí být zadní blatníky, které mají mít ochranou funkci, protože při kontaktu s točícími se zadními koly by mohlo dojít ke zranění. Plášť by mělo být možné snadno dostatečně přimontovat k robotu a snadno ho také odmontovat. Mělo by se na něj dát umístit 10 ultrazvukových senzorů, nebo by plášť alespoň neměl bránit jejich funkčnímu umístění na jiné části robotu. Konečný navržený tvar pláště by ještě také měl být snadno vyrobitelný.

Největší problémy při návrhu vnějšího pláště mobilního robotu v bodech:

- Návrh koncepčních řešení při dodržení všech omezení tvaru
- Zvolení jednoho koncepčního řešení pro předlohu tvaru konstrukčního řešení
- Zvolení vhodné technologie výroby
  
- Chlazení vnitřních součástí robotu
- Bezpečnostní prvky
- Montáž a demontáž pláště
- Montáž ultrazvukových senzorů
- Vyrobitelnost

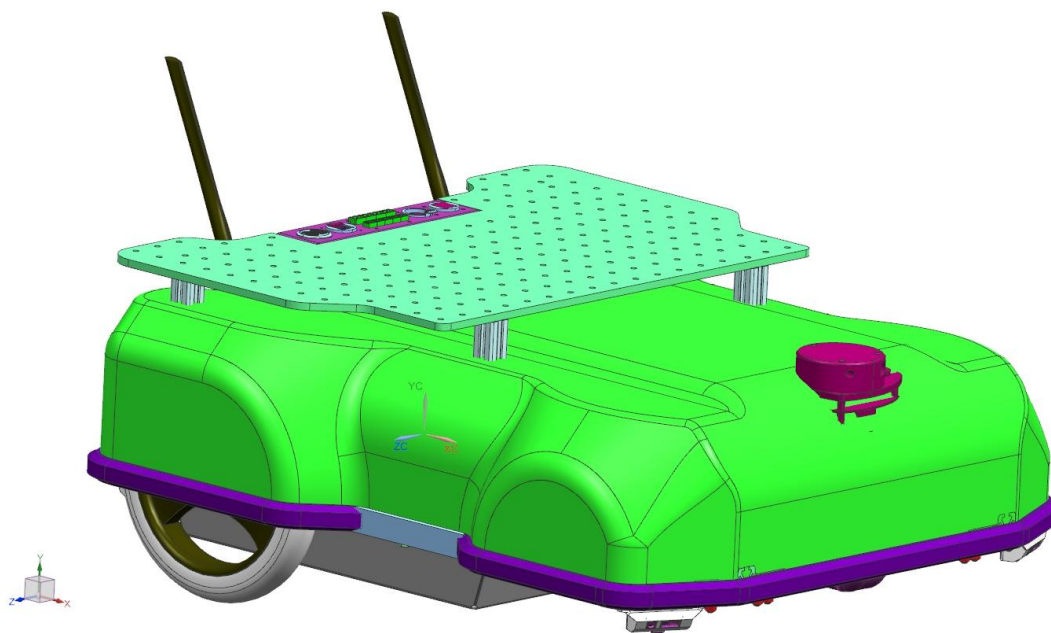
## ***Cíl práce***

Cílem této práce je navrhnout vnější plášť zadaného mobilního robotu a vhodnou technologii výroby tohoto pláště tak, aby měl robot s tímto pláštěm co nejlepší vzhled i přes všechna zmíněná omezení tvaru a zároveň co nejmenší výrobní cenu.

Dále je cílem navrhnout vnější plášť tak, aby teplota vzduchu pod pláštěm nepřesáhla 50°C při zadaném ztrátovém výkonu vnitřních součástí a zadané teplotě vzduchu v okolí, a aby byly vyřešeny i všechny ostatní zmíněné problémy.

## Koncepční řešení – variantní studie designu

### *Varianta 1*



Obrázek 2

V této variantě, kterou lze vidět na obrázku 2, není příliš dořešená oblast v okolí lidarů, protože toto má být pouze ukázka přibližného výsledného tvaru. Nebyl by ale problém spodní část lidarů zakrýt způsobem, který by nezhoršoval výsledný vzhled robotu. Podobně nejsou dořešeny další problémy jako například větrací otvory, upevnění pláště a montáž ultrazvukových senzorů. Těmito problémy se ale budu zabývat až v další části této práce.

Přední blatníky zde nemají velkou funkci, protože přední kola jsou umístěna pod robotem a ne na straně robotu, jako zadní kola. Přesto jsem zvolil takový tvar, protože jsem chtěl pro design všech blatníků použít podobné tvarové prvky.

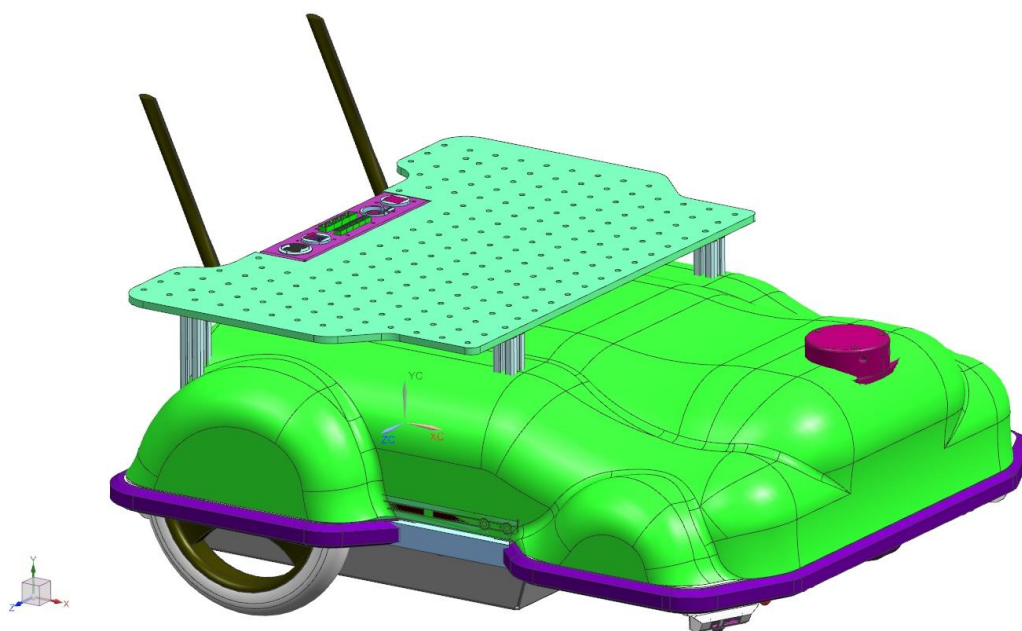
Tento plášť by měl umožňovat lidarům rozhled do všech úhlů.

Tento tvar by s menšími úpravami mohl být vyroben z laminátu, nebo vakuovým tvářením z plastové folie (nebo z dílů vyrobených z plastové folie jiným způsobem). Kdyby se měl tento návrh vyrábět z plechových dílů, tak by bylo vhodné jeho tvar více upravit. Například kvůli komplikacím s ohýbáním plechů do velkých poloměrů by měly být všechny hrany více ostré a oblouky blatníků by měly být vyřešeny jiným způsobem. Zbývající dvě technologie výroby plášťů, které uvádím v této práci (vstřikování plastu do formy a 3D tisk), by neměly mít s tímto tvarem větší problém (alespoň ne větší, než s jiným tvarem podobných rozměrů).

Celkový vzhled tohoto návrhu se dá obtížně přirovnat ke konkrétnímu existujícímu objektu. Nejblíže přirovnání bude pravděpodobně auto, i když nejspíše jediná podobnost s autem jsou čtyři kola na bocích, případně dvě zadní kola a iluze dvou předních kol, vytvořená předními blatníky.



## Varianta 2



Obrázek 3

Tato varianta, kterou lze vidět na obrázku 3, je podobně jako první varianta jen ukázkou přibližného výsledného tvaru robotu. Proto zde zatím ještě nejsou dořešeny některé problémy, jako například větrací otvory, upevnění pláště a montáž ultrazvukových senzorů. Na rozdíl od první varianty je ale spodní část lidarů zakrytá.

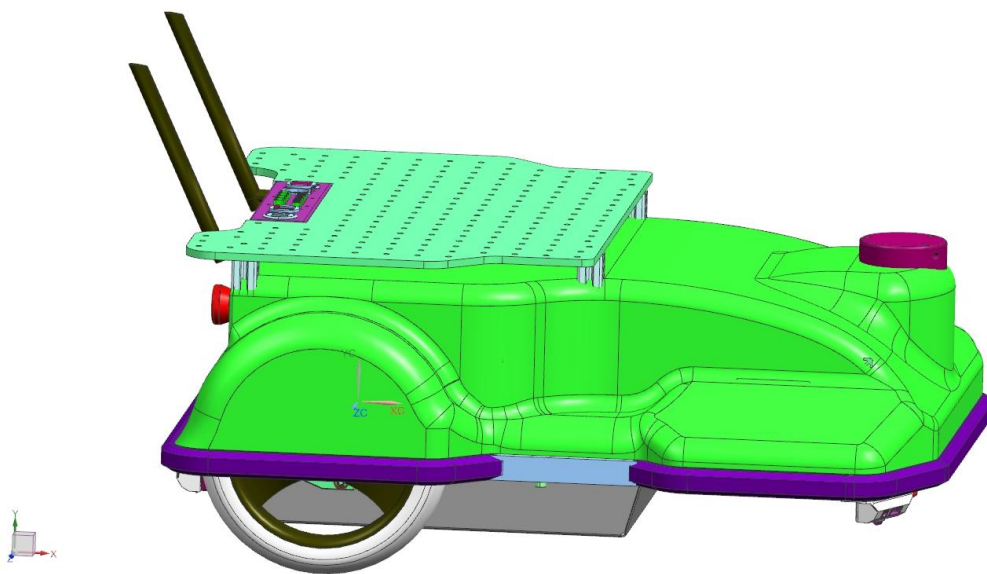
I tento návrh má výrazné přední blatníky, které nemají velké opodstatnění. Přesto jsem zvolil takový tvar, protože jsem chtěl, aby měly všechny blatníky podobný tvar připomínající blatníky některých starších aut.

S touto variantou pláště má lidar umožněný rozhled do všech úhlů.

Tento tvar by mohl být vyroben z laminátu, nebo vakuovým tvářením z plastové folie. Ale na rozdíl od prvního návrhu je tento tvar velmi nevhodný pro výrobu z plechových dílů, protože se skládá především z velkých zaoblení. Takový tvar by bylo možné vyrobit z plechu například tažením, ale vyžadovalo by to drahý jednoúčelový nástroj. Pro malou sérii výroby by se takový nástroj nevyplatil. Tento tvar by se složitě vyráběl i z dílů vyrobených z plastové folie, která by se pouze řezala a ohýbala, protože většina jeho ploch je nerozvinutelných. Pro technologii vstřikování plastu do formy a pro 3D tisk by nemělo být problém tento tvar vyrobit. Větším problémem, stejně jako u prvního návrhu by mohly být spíše rozměry, i když plášť tohoto robotu by stejně nemohl být vyrobený z jednoho kusu, kvůli problémům s montáží a demontáží. Tímto problémem se ale budu zabývat až v další části této práce.

Tato varianta má tvarem některých částí připomínat, jak už bylo zmíněno, starší auto. Alespoň v porovnání s první variantou tento tvar auto připomíná mnohem více. Robot se běžně nebude pohybovat velkými rychlostmi, a proto nemá z fyzikálních důvodů význam navrhovat tvar pláště, který by při pohybu působil malý odpor vzduchu. Přesto jsem pro design druhé varianty použil prvky, které mohou připomínat aerodynamický tvar, ale pouze proto, aby daly robotu zajímavý vzhled.

### *Varianta 3*



Obrázek 4

Na obrázku 4 je třetí návrh přibližného výsledného tvaru robotu. Nedořešeným problémům jako jsou větrací otvory, upevnění pláště a montáž ultrazvukových senzorů, bych se věnoval až v další části této práce.

Tento návrh nemá přední blatníky, protože přední kola jsou umístěna pod robotem a není nutné, aby nějaké blatníky měla. Zadní kola blatníky musejí mít z bezpečnostních důvodů, aby nemohlo dojít k poranění při kontaktu s točícím se kolem.

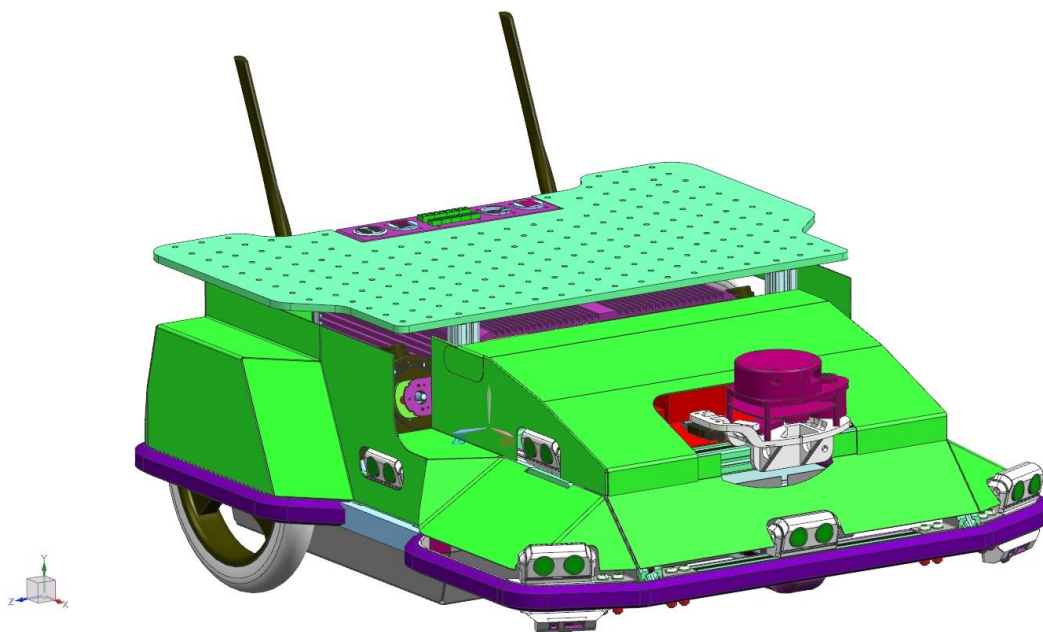
Tento návrh pláště by lidar nebránil při pohledu směrem dozadu.

Tato varianta by se dala vyrobit po některých úpravách z laminátu, nebo vakuovým tvářením z plastové folie. Ani výroba z plastové folie pouze řezáním a ohýbáním by nevyžadovala velké úpravy tohoto tvaru. Stejně jako u předchozích variant by se dal i tento tvar vyrobit vstřikováním plastu do formy, nebo s využitím technologie 3D tisku.

Při návrhu této varianty jsem se inspiroval svým dřívějším návrhem, který lze vidět na obrázku 5, určeným pro výrobu z plechových dílů. Plechové díly mohou být výhodné, protože například ocel, nebo hliník, ze kterých může být daný plech vyrobený, mají vyšší součinitel tepelné vodivosti než pravděpodobně všechny plasty, nebo lamináty. Proto by plášť vyrobený z plechových dílů neměl způsobovat tak velké přehřívání jako plášť vyrobený například z plastu blízkému se vlastnostmi spíše tepelnému izolantu (za předpokladu že by byly všechny rozměry obou materiálových variant stejné).

Plechový návrh z obrázku 5 má také velké větrací otvory a při dalších případných úpravách bych navrhl větší mezery mezi jednotlivými díly, aby se mohlo teplo odvádět s ještě větším výkonem. V další části této práce je výpočet zabývající se problematikou přehřívání. Do výsledné rovnice jsem dosadil hodnoty parametrů pláště, které odpovídají pravděpodobně nejhoršímu možnému vhodnému návrhu pláště z hlediska odvádění tepla. Jako tento nejhorší materiál jsem zvolil plastovou folii o tloušťce 4mm (předpokládám, že plast má srovnatelný součinitel tepelné vodivosti s laminátem). Z výpočtu vyplývá, že by měl mít plášť poměrně

velký celkový průřez větracích otvorů, aby teplota vzduchu pod pláštěm příliš nevzrostla. U plechového pláště by nemusely být tak velké větrací otvory a potřebný celkový minimální průřez větracích otvorů by mohl být i s určitou bezpečností větší než jedna realizován především mezerami mezi některými plechovými díly.



Obrázek 5

Tato plechová verze varianty 3 má vyřešené umístění senzorů. Druhou možností by bylo umístit senzory přímo na plechový plášť.

Zadní blatníky nejsou kulaté, protože to by zkomplikovalo výrobu z plechu. Ale i hranaté blatníky splňují bezpečnostní funkci.

Lidar má s touto verzí umožněný rozhled do všech úhlů. V oblasti v okolí lidarů chybí díl, který by spodní část lidarů zakrýval. Mohl by být vyrobený z plechu, jako ostatní části této verze, nebo by mohl být vyrobený jinou technologií.

Montáž a demontáž pláště je vyřešena jen z části. Plechový návrh se skládá z více dílů, aby bylo možné díly při montáži jednoduše umístit na robot, a aby byly díly dostatečně jednoduché pro výrobu. Některé díly lze například přišroubovat přímo ke kostře robotu (po dodělání děr pro šrouby), ale u jiných dílů bude řešení montáže o něco složitější. Pokud nebude stačit změna jejich tvaru, tak bude nutné přidat pomocné díly, které umožní dostatečné připevnění celého pláště k robotu.

Podobně jako v oblasti lidarů není dokončena oblast pod deskou, sloužící k upnutí nákladu. Tato oblast by se ale dala využít pro větrání. Všechny zmíněné problémy bych řešil až v další části této práce, protože i tato plechová verze je zatím pouze přibližným návrhem výsledného tvaru pláště.

# Teplotní bilance

## První část výpočtu

Pro přibližný výpočet výsledné teploty vzduchu pod pláštěm robotu si představím zjednodušující model, který má sloužit ke zmenšení množství neznámých, nebo obtížně zjistitelných vstupních parametrů a okrajových podmínek.

Myšleným modelem je z jedné strany otevřená nádoba o objemu  $V$  a výškou  $h$ , otočená dnem vzhůru. Tento model má představovat plášť robotu. Objemem  $V$  myslím u skutečného robotu pouze objem vzduchu. Ten je na rozdíl od objemu vypočítaného pouze z rozměrů pláště zmenšen o objem vnitřních součástí robotu. Naštěstí nebude nutné tento objem pro výpočet výsledné teploty vzduchu znát, i když s využitím 3D modelu by bylo možné ho určit. Ve dnu nádoby (na vrchní straně) je otvor s průřezem  $S$ . Předpokládám, že protilehlá (spodní) otevřená strana nádoby má průřez mnohem větší, než je průřez  $S$ , a proto ho nebudu ve výpočtu uvažovat. Výška  $h$  je výška otvoru o průřezu  $S$  nad dolním okrajem nádoby.

Pro výpočet předpokládám nevýrazné vnější proudění vzduchu a dokonalé promísení vzduchu pod pláštěm robotu (dokonalé promísení vzduchu se týká spíše druhé části výpočtu). Výkon produkovaného tepla vnitřními součástmi robotu bude  $P$  a Teplota okolí bude  $T_\infty$ .

Existují různé tvary stavové rovnice plynů, já jsem si vybral tento tvar: (rovnice 1)

$$pV = NkT$$

Kde  $p$  je tlak v nádobě,  $V$  je už zmíněný objem nádoby,  $N$  je počet molekul vzduchu v objemu  $V$ ,  $k$  je Boltzmannova konstanta a  $T$  je teplota vzduchu v nádobě.

V této rovnici se nevyskytuje hmotnost vzduchu v nádobě  $m$ , a proto jí upravím na tento tvar: (rovnice 2)

$$pV = \frac{mkT}{m_n N_m}$$

Kde  $m_n$  je přibližná hmotnost jednoho nukleonu a  $N_m$  je přibližné průměrné množství nukleonů v jedné molekule vzduchu.

Z této rovnice vyjádřím hmotnost  $m$ : (rovnice 3)

$$m = \frac{pV m_n N_m}{kT}$$

Hustota vzduchu v nádobě  $\rho_T$  se dá vypočítat takto: (rovnice 4)

$$\rho_T = \frac{p m_n N_m}{kT}$$

To vzniklo vyjádřením  $m/V$ .

Obdobně lze vypočítat hustotu vzduchu v okolí nádoby  $\rho_{T\infty}$ : (rovnice 5)

$$\rho_{T\infty} = \frac{pm_n N_m}{kT_{\infty}}$$

Kde  $T_{\infty}$  je už zmíněná teplota okolí.

Dále vyjdu z principu Archimédova zákona a silové výslednice na svislé ose: (rovnice 6)

$$F = Vg(\rho_{T\infty} - \rho_T)$$

Kde  $F$  je výsledná síla působící na vzduch v objemu  $V$  a  $g$  je gravitační zrychlení.

Když toto dosadím za  $F$  do vztahu pro výpočet zrychlení, které si označím jako  $g'$  ( $g' = F/m$ ), tak získám tuto rovnici: (rovnice 7)

$$g' = \frac{Vg(\rho_{T\infty} - \rho_T)}{m}$$

Do této rovnice lze dále dosadit za  $\rho_{T\infty}$  z rovnice 5, za  $\rho_T$  z rovnice 4 a za  $m$  z rovnice 3. Po dosazení a úpravách vznikne: (rovnice 8)

$$g' = \frac{T - T_{\infty}}{T_{\infty}} g$$

Jde pouze o výpočet absolutní hodnoty, zrychlení  $g'$  má na rozdíl od gravitačního zrychlení  $g$  opačný směr (vzhůru).

Zrychlení  $g'$  dosadím do rovnice pro výpočet výtokové rychlosti: (rovnice 9)

$$v = \sqrt{2g'h} = \sqrt{2 \frac{T - T_{\infty}}{T_{\infty}} gh}$$

Kde  $v$  je výtoková rychlost vzduchu z otvoru na vrchní straně nádoby a  $h$  je už zmíněná výška nádoby. V této rovnici zanedbávám například tření vzduchu o okraje otvoru, protože tento výpočet má být pouze přibližný. Vliv tohoto tření by skutečnou průměrnou výtokovou rychlost vzduchu snižoval, ale bude dostatečně malý, pokud bude větší část průřezu otvoru dostatečně vzdálena od okraje otvoru.

V další části výpočtu vyjdu z kalorimetrické rovnice: (rovnice 10)

$$Q = mc_p \Delta T$$

Kde  $Q$  je teplo,  $m$  je hmotnost vzduchu,  $c_p$  je měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku a  $\Delta T$  je změna teploty vzduchu z teploty  $T_{\infty}$  na teplotu  $T$ .

Vzduch ale nádobou proudí, a proto není tento tvar rovnice pro tento výpočet vhodný. Místo tepla  $Q$  dosadím do rovnice už zmíněný výkon produkovaného tepla vnitřními součástmi

robotu  $P$  a místo hmotnosti  $m$  hmotnostní tok  $\dot{m}$ .  $\Delta T$  se dá rozepsat na  $(T - T_\infty)$ . Získám tuto rovnici: (rovnice 11)

$$P = \dot{m} c_p (T - T_\infty)$$

Výpočet hmotnostního toku vzduchu  $\dot{m}$ : (rovnice 12)

$$\dot{m} = \rho_T \dot{V}$$

kde  $\dot{V}$  je objemový tok vzduchu, který se dále dá rozepsat: (rovnice 13)

$$\dot{m} = \rho_T v S$$

kde  $S$  je už zmíněný průřez otvoru v horní straně nádoby.

Tento hmotnostní tok se dá dosadit do rovnice 11 a za  $\rho_T$  se dá dosadit z rovnice 4, po úpravách získám tento vztah: (rovnice 14)

$$P = \frac{p m_n N_m}{k} v S c_p \left(1 - \frac{T_\infty}{T}\right)$$

Tato rovnice tvoří společně s rovnicí 9 soustavu dvou rovnic o dvou neznámých  $v$  a  $T$ . Počítám  $T$ , a proto dosadím za  $v$  do rovnice 14 z rovnice 9: (rovnice 15)

$$P = \frac{p m_n N_m}{k} \sqrt{2 \frac{T - T_\infty}{T_\infty} g h} \cdot S c_p \left(1 - \frac{T_\infty}{T}\right)$$

V této rovnici se vyskytuje pouze jediná neznámá  $T$ , která se ale nedá jednoduše vyjádřit. Řešení této rovnice povede na kubickou rovnici. Prvním krokem bylo umocnění rovnice: (rovnice 16)

$$P^2 = \frac{p^2 m_n^2 N_m^2 2 g h S^2 c_p^2}{k^2} \cdot \left(\frac{T}{T_\infty} - 1\right) \cdot \left(1 - 2 \frac{T_\infty}{T} + \frac{T_\infty^2}{T^2}\right)$$

Pro zkrácení zápisu si vytvořím substituci na místo prvního zlomku na pravé straně rovnice 16, tvořeného pouze konstantami. Označím ho například písmenem  $B$ : (rovnice 17)

$$B = \frac{p^2 m_n^2 N_m^2 2 g h S^2 c_p^2}{k^2}$$

Dále rovnici 16 roznásobím: (rovnice 18)

$$P^2 = B \left( \frac{T}{T_\infty} - 2 + \frac{T_\infty}{T} - 1 + 2 \frac{T_\infty}{T} - \frac{T_\infty^2}{T^2} \right)$$

Vynásobím obě strany rovnice  $T^2$  a upravím do tvaru kubické rovnice: (rovnice 19)

$$\frac{B}{T_{\infty}} \cdot T^3 - (3B + P^2) \cdot T^2 + 3BT_{\infty} \cdot T - BT_{\infty}^2 = 0$$

Do rovnice 19 dosadím hodnoty a najdu kořeny rovnice  $T_1$ ,  $T_2$  a  $T_3$ .

$$p = 101325 \text{ Pa}$$

$$m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$N_m = 28$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 0,15 \text{ m}$$

$$S = 0,0055 \text{ m}^2$$

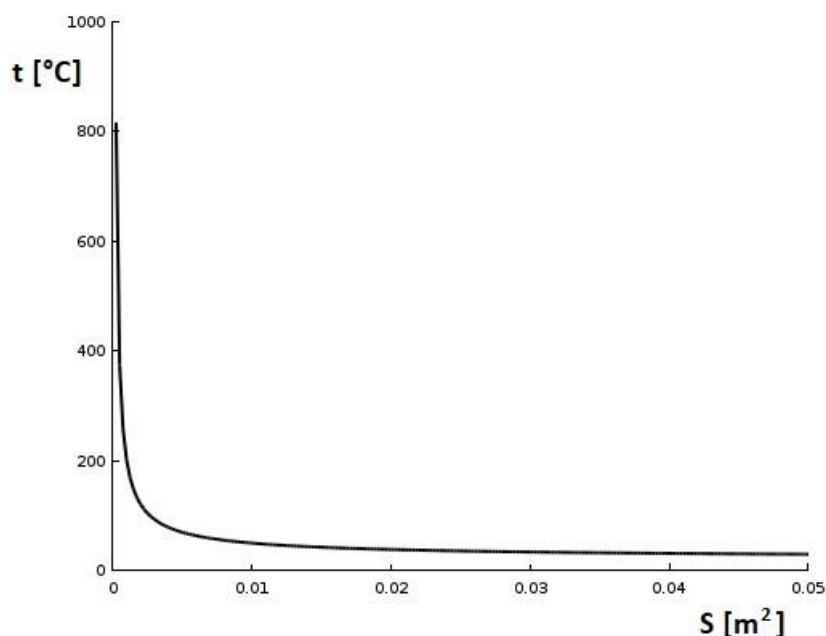
$$c_p = 1010 \text{ J/Kg} \cdot \text{K} [1]$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$T_{\infty} = 293,15 \text{ K}$$

$$P = 179,2 \text{ W} \dots \dots \dots \text{ (tento údaj je poskytnutý firmou Bender Robotics)}$$

Rovnice byla vypočítána pomocí Octavu. Tato rovnice má pouze jeden kořen v oboru reálných čísel. Výsledná teplota vzduchu pod pláštěm robotu podle této rovnice s těmito parametry je  $67^{\circ}\text{C}$ . Tato teplota je stále příliš vysoká. Bylo by možné zadat do výpočtu větší průřez  $S$ , ale raději zpřesním výpočet.



Graf 6

V grafu 6 lze vidět závislost výsledné teploty pod pláštěm robotu na velikosti průřezu větracího otvoru podle rovnice 19. Chyba výpočtu roste nad všechny meze se zmenšujícím se otvorem o průřezu  $S$ .

## Druhá část výpočtu

Předchozí výpočet obsahoval pouze ochlazování prouděním. Dosazení hodnot do rovnice 19 ukázalo, že ochlazování vedením skrz plášť nebude zanedbatelné.

Proto se vrátím k rovnici 15 a upravím ji tak, aby vedení tepla skrz plášť obsahovala: (rovnice 20)

$$P - \frac{T - T_{\infty}}{R} \cdot S_p = \frac{pm_n N_m}{k} \sqrt{2 \frac{T - T_{\infty}}{T_{\infty}} gh} \cdot Sc_p \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T}\right)$$

Kde  $S_p$  je povrch pláště a  $R$  je tepelný odpor pláště. Levá strana této rovnice obsahuje celkový výkon dodávaný proudícímu vzduchu. Od výkonu  $P$  odčítám tepelný tok odcházející stěnami pláště. Tento tok je přímo úměrný rozdílu teploty pod pláštěm robotu a okolní teploty.

Další úpravy této rovnice povedou na rovnici čtvrtého stupně. Prvním krokem je umocnění rovnice: (rovnice 21)

$$P^2 - 2P \frac{T - T_{\infty}}{R} \cdot S_p + \frac{S_p^2}{R^2} \cdot (T - T_{\infty})^2 = B \cdot \left(\frac{T}{T_{\infty}} - 1\right) \cdot \left(1 - 2 \frac{T_{\infty}}{T} + \frac{T_{\infty}^2}{T^2}\right)$$

V dalším kroku rovnici roznásobím: (rovnice 22)

$$P^2 - 2P \frac{T}{R} S_p + 2P \frac{T_{\infty}}{R} S_p + \frac{S_p^2}{R^2} T^2 - \frac{S_p^2}{R^2} 2T_{\infty} T + \frac{S_p^2}{R^2} T_{\infty}^2 = \frac{T}{T_{\infty}} B - 3B + 3 \frac{T_{\infty}}{T} B - \frac{T_{\infty}^2}{T^2} B$$

Obě strany rovnice vynásobím  $T^2$  a upravím do výsledného tvaru kvartické rovnice: (rovnice 23)

$$\frac{S_p^2}{R^2} T^4 - \left(2 \frac{PS_p}{R} + 2 \frac{S_p^2 T_{\infty}}{R^2} + \frac{B}{T_{\infty}}\right) T^3 + \left(P^2 + 2 \frac{PS_p T_{\infty}}{R} + \frac{S_p^2 T_{\infty}^2}{R^2} + 3B\right) T^2 - 3BT_{\infty} T + BT_{\infty}^2 = 0$$

Tepelný odpor pláště  $R$  vypočítám pomocí této rovnice: (rovnice 24)

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Kde  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  jsou součinitele přestupu tepla mezi vzduchem a povrchem pláště robotu z vnitřní a vnější strany,  $d$  je tloušťka stěny pláště a  $\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti materiálu, ze kterého je plášť vyrobený.

Hodnoty součinitelů přestupu tepla  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  je obtížné přesně určit. Hodnota součinitele přestupu tepla je závislá například na rozložení rychlostí vzduchu kolem daného povrchu. V případě skutečného pláště jsou rychlosti vzduchu v různých místech nad jeho povrchem



různé. Dále je rozložení rychlostí vzduchu nad povrchem pláště především z vnitřní strany závislé například i na velikosti větracích otvorů. Ve svém výpočtu to ale zanedbávám a dosazuji za  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  hodnoty nezávislé na průřezu větracích otvorů  $S$ , to je další velké zjednodušení. Rozložení rychlostí vzduchu kolem pláště robotu především z vnější strany bude zase závislé na vnějším proudění vzduchu (při výpočtu předpokládám, že je dostatečně malé) a na rychlosti robotu. Bylo by vhodné tuto rychlost volit malou i přes to, že do výpočtu má být dosazený velký výkon motorů. Je to možné, protože motory mohou pracovat s velkým výkonem, i když robot pojede pomalu, pokud je součet sil působících proti otáčení motorů dostatečně velký. Velká rychlost robotu by mohla zlepšit výsledek, ale robot by měl být navržen pro situace, které neumožňují tak dobré chlazení. Jiným problémem, který souvisí se součiniteli přestupu tepla, je různá teplota vzduchu v různých místech nad povrchem skutečného pláště. K tomu může dojít, například když je vzduch proudící kolem pláště už ohřátý od jiného místa pláště (v případě vnější strany pláště, na vnitřní straně pláště by to bylo obráceně). Rozložení teplot a rychlostí vzduchu nad povrchem pláště proto závisí na tvaru pláště, včetně špatně popsateľného tvaru, jako je struktura povrchu. Součinitel přestupu tepla ještě závisí třeba na druhu proudění vzduchu, jestli je laminární, nebo turbulentní. I to může být v různých místech nad povrchem pláště různé. To vše a další vlivy má za následek, že je téměř nemožné určit přesný součinitel přestupu tepla pláště tohoto robotu. Bylo by možné použít například numerickou metodu, jako je metoda konečných prvků, nebo by bylo možné součinitele přestupu tepla určit experimentálně. Ale pro tento výpočet, který obsahuje různá zjednodušení a zanedbání, ať už ta zmíněná nebo ta ostatní (jako je například ještě vedení tepla zářením), by nemělo smysl hledat přesné hodnoty  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$ , protože jde pouze o přibližný výpočet. Hodnoty  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  jsem zvolil tak, aby se alespoň řádově blížily k možným skutečným hodnotám součinitelů přestupu tepla.

Do rovnice 23 dosadím hodnoty a najdu kořeny rovnice  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  a  $T_4$ .

$$p = 101325 \text{ Pa}$$

$$m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$N_m = 28$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 0,15 \text{ m}$$

$$S = 0,0055 \text{ m}^2$$

$$c_p = 1010 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$T_\infty = 293,15 \text{ K}$$

$$P = 179,2 \text{ W}$$

$$S_p = 0,6 \text{ m}^2$$

$$d = 0,004 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,35 \text{ W/mK [2]}$$

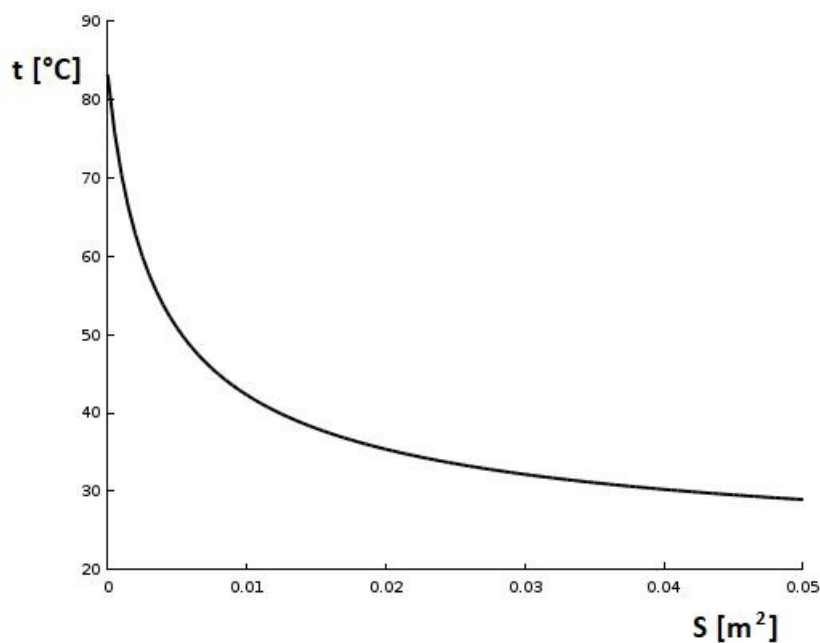
$$\alpha_1 = 10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\alpha_2 = 10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

I tato rovnice byla vypočítána pomocí Octavu. Pouze dva kořeny ze čtyř jsou z oboru reálných čísel. Jeden kořen je hledaný výsledek, a druhý kořen nepatří do oboru hodnot rovnice

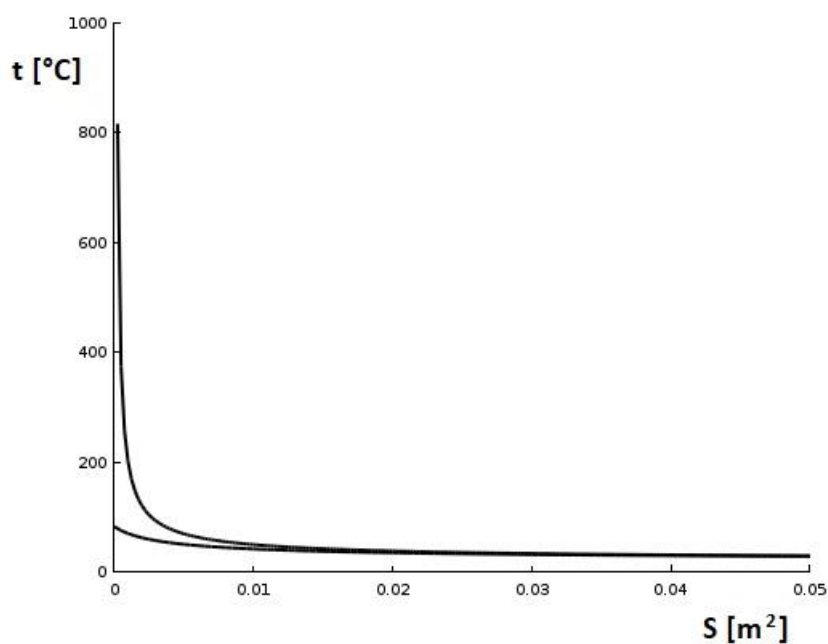
před umocněním (rovnice 20). Výsledná teplota vzduchu pod pláštěm robotu podle této rovnice s těmito parametry je  $50^{\circ}\text{C}$ .

Tato teplota je stále na hranici přijatelné teploty, v konstrukčním řešení budu proto volit celkový průřez větracích otvorů spíše větší než  $55\text{cm}^2$ .



Graf 7

V grafu 7 lze vidět závislost výsledné teploty pod pláštěm robotu na velikosti průřezu větracího otvoru podle rovnice 23. Rovnice 23 už obsahuje odvádění tepla skrz plášť, a proto i při nulovém průřezu větracího otvoru, kdy je úplně zamezeno vedení tepla prouděním, vychází konečná hodnota výsledné teploty pod pláštěm.



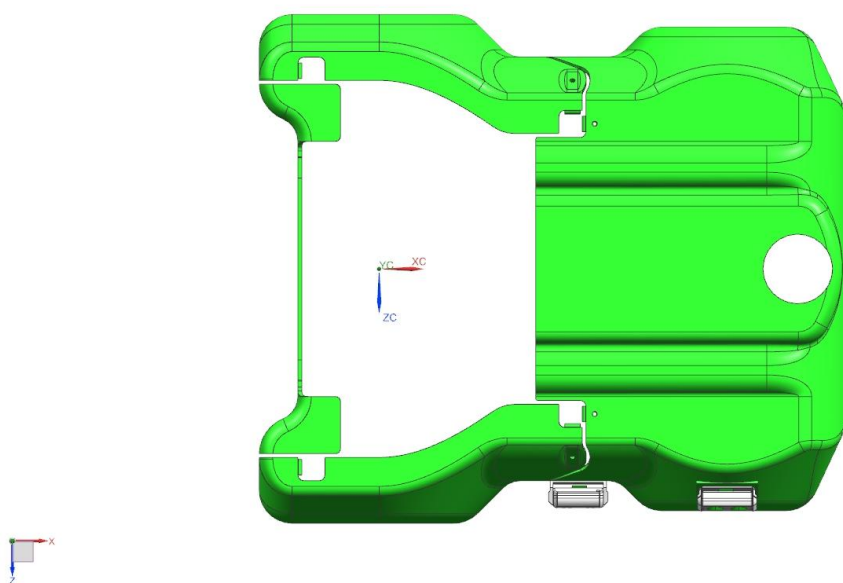
Graf 8

V grafu 8 lze vidět porovnání řešení z první části výpočtu s řešením z druhé části výpočtu. Řešení z druhé části výpočtu se pravděpodobně blíží k hodnotám výsledné teploty vzduchu pod pláštěm skutečného robotu více.

## Konstrukční řešení

### *Prvky sloužící k chlazení*

V předchozí části práce jsem se zabýval teplotní bilancí robotu. Počítal jsem výslednou teplotu pod pláštěm robotu v závislosti na průřezu větracích otvorů. Podle výpočtu by měl být průřez větracích otvorů větší než  $55\text{cm}^2$ .



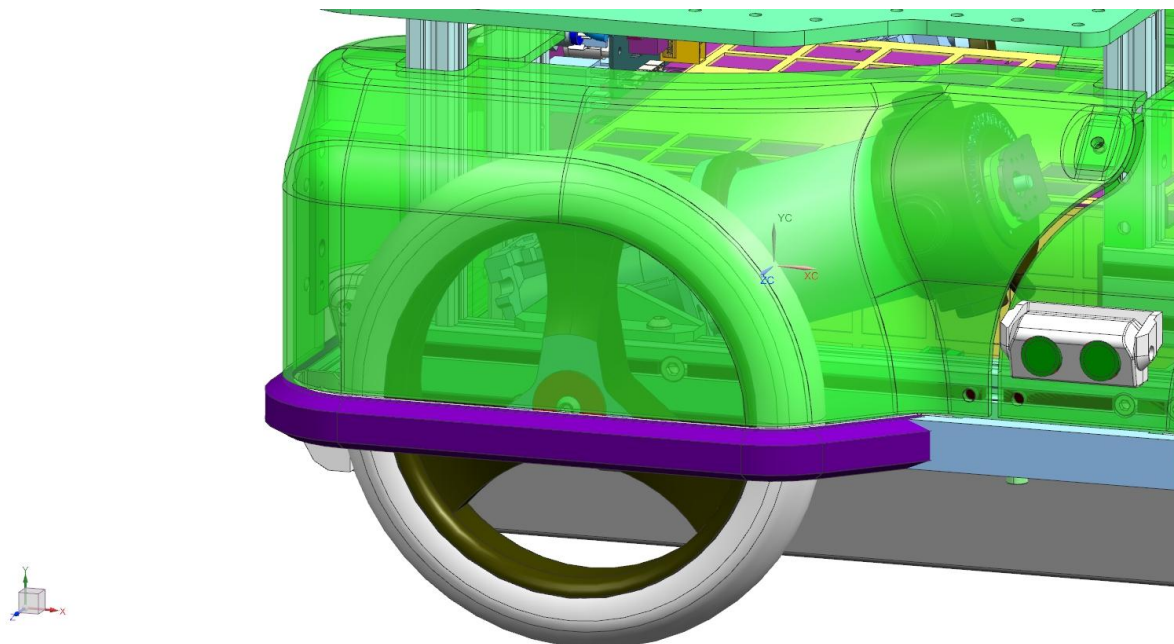
Obrázek 9

Na obrázku 9 lze vidět model pláště při pohledu shora. Průřez větracího otvoru je přibližně  $780\text{cm}^2$ . Proto by se mohlo zdát, že je tento průřez dostatečně velký, aby nedocházelo k přehřívání vnitřních součástí robotu. Pokud se tato hodnota dosadí do rovnice 23, tak z výpočtu vyjde teplota  $26,8^\circ\text{C}$ . Tato teplota je dostatečně nízká.

Volné proudění vzduchu ale nebude umožňovat celý tento průřez kvůli dalším součástem robotu. A nemělo by se také ještě zapomenout i na desku sloužící k připevnění nákladu, která se nachází nad otvorem ve výšce  $3\text{cm}$ . Mohla by částečně omezovat proudění vzduchu větracím otvorem. S přihlédnutím k těmto faktorům mi přijde navržený větrací otvor přiměřený.

### *Bezpečnostní prvky - zakrytí kol*

Při kontaktu s točícím se kolem by mohlo dojít ke zranění, například skřípnutí mezi kolo a nárazník. Proto je nutné, aby byla kola dostatečně zakryta. V oblasti nad nárazníkem chrání kolo blatník, jak lze vidět na obrázku 10. Mezera mezi blatníkem a nárazníkem je příliš malá, aby se jí dal prostrčit prst. Oblast pod nárazníkem není chráněná vůbec, zde by ke zranění případně dojít mohlo. Tato oblast je ale hůře přístupná a zranil by se zde snad jen ten, kdo by se o to úmyslně pokoušel.

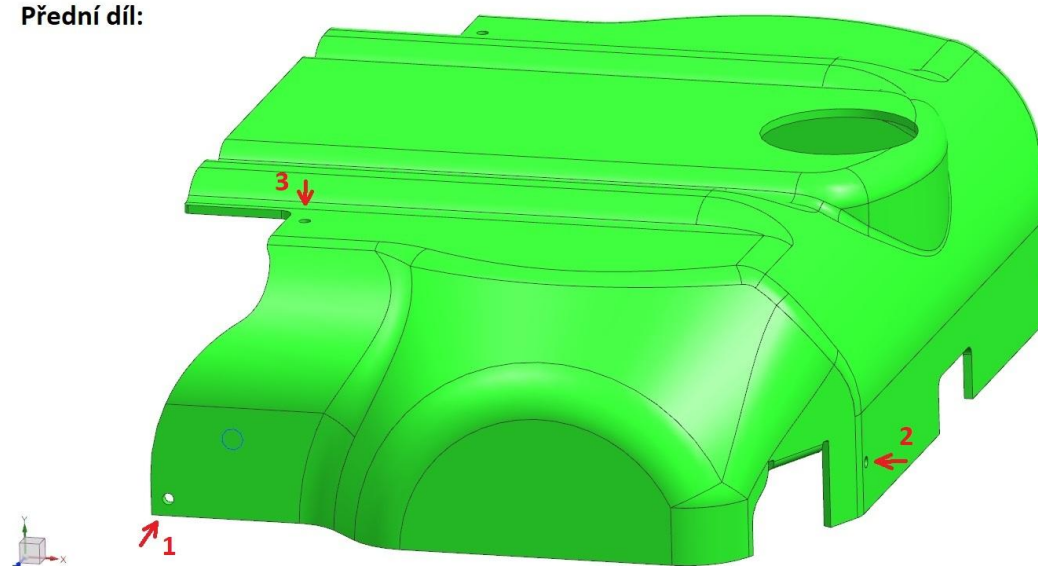


Obrázek 10

### ***Montáž a demontáž vnějšího pláště***

Plášť jsem rozdělil na čtyři díly, přední díl, dva boční díly, které jsou souměrné, a zadní díl. Tyto díly je možné přimontovat k robotu bez toho, aby bylo předtím nutné odmontovat jakoukoliv jinou část robotu.

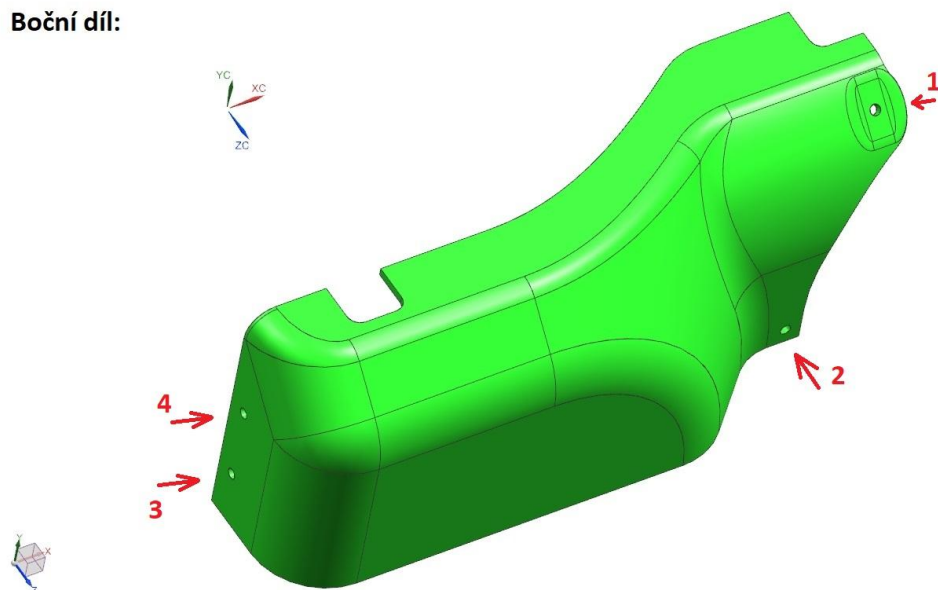
**Přední díl:**



Obrázek 11

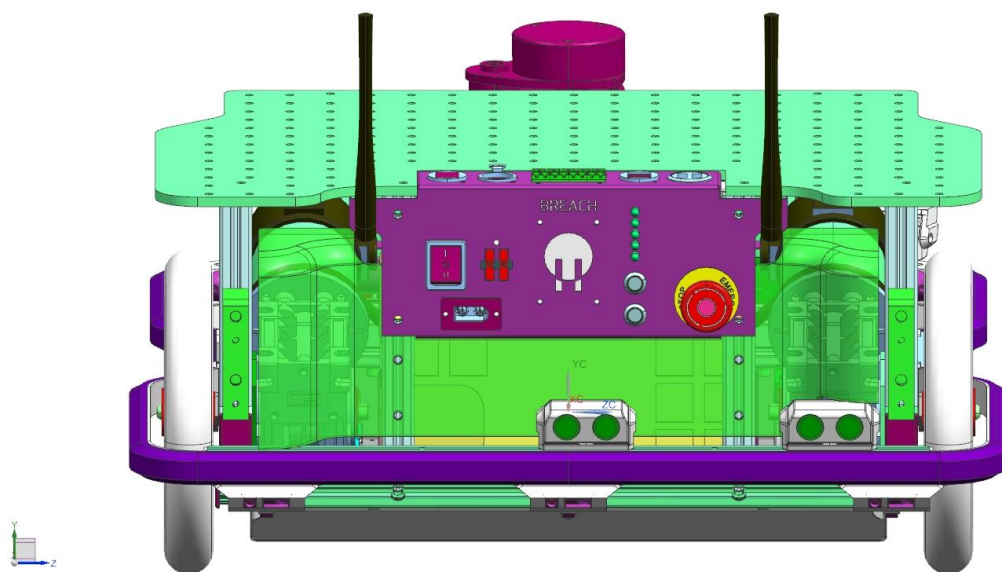
Na obrázku 11 lze vidět přední díl. K robotu bude přišroubován šesti šrouby. Na obrázku jsou vyznačeny díry pro tři šrouby, zbylé díry pro šrouby jsou souměrně na druhé straně robotu.

**Boční díl:**



Obrázek 12

Na obrázku 12 lze vidět boční díl, který bude k robotu přišroubován čtyřmi šrouby. Druhý boční díl bude k robotu přimontován stejným způsobem.

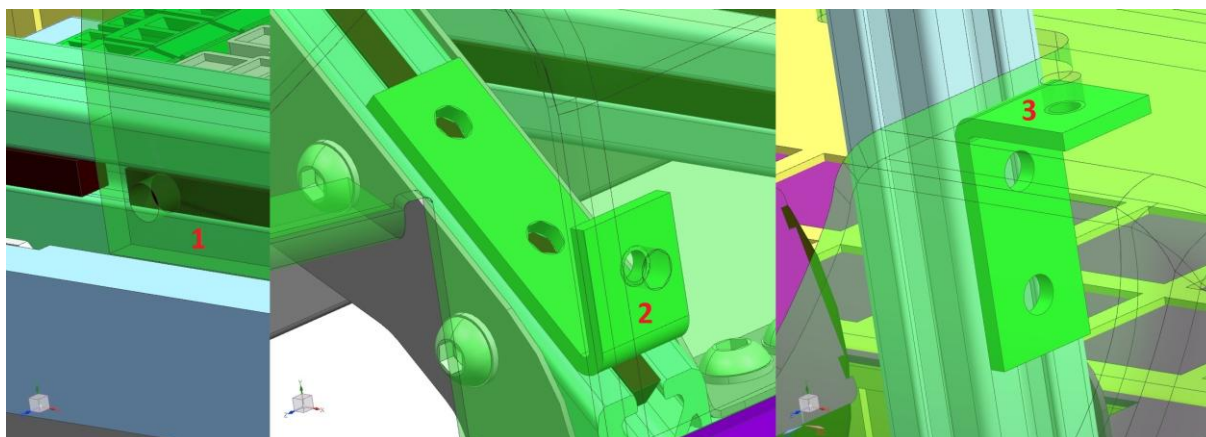


Obrázek 13

Na obrázku 13 je zadní díl. K robotu se přimontuje pomocí čtyř šroubů. K tomu lze využít stavebnicové hliníkové profily robotu. Do drážky by se dala například proti šroubu umístit matice upravená tak, aby se nemohla v drážce otáčet. Šrouby bych zvolil například s půlkulatou hlavou s imbusem (nejen šrouby k přimontování zadního dílu, ale všechny šrouby).

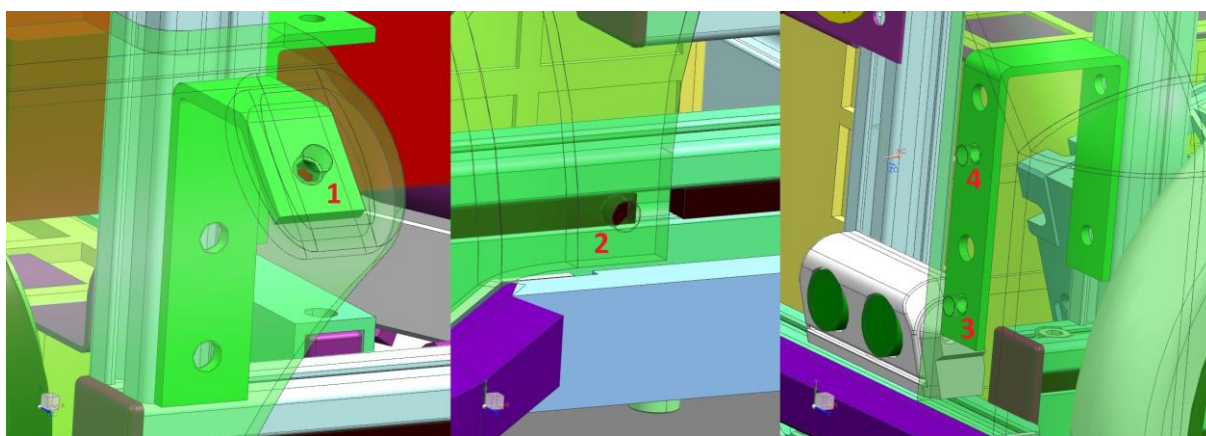


Přední díl a boční díly se nedají přimontovat tak jednoduše. Proto jsem navrhnul ještě jednoduché pomocné plechové díly.



Obrázek 14

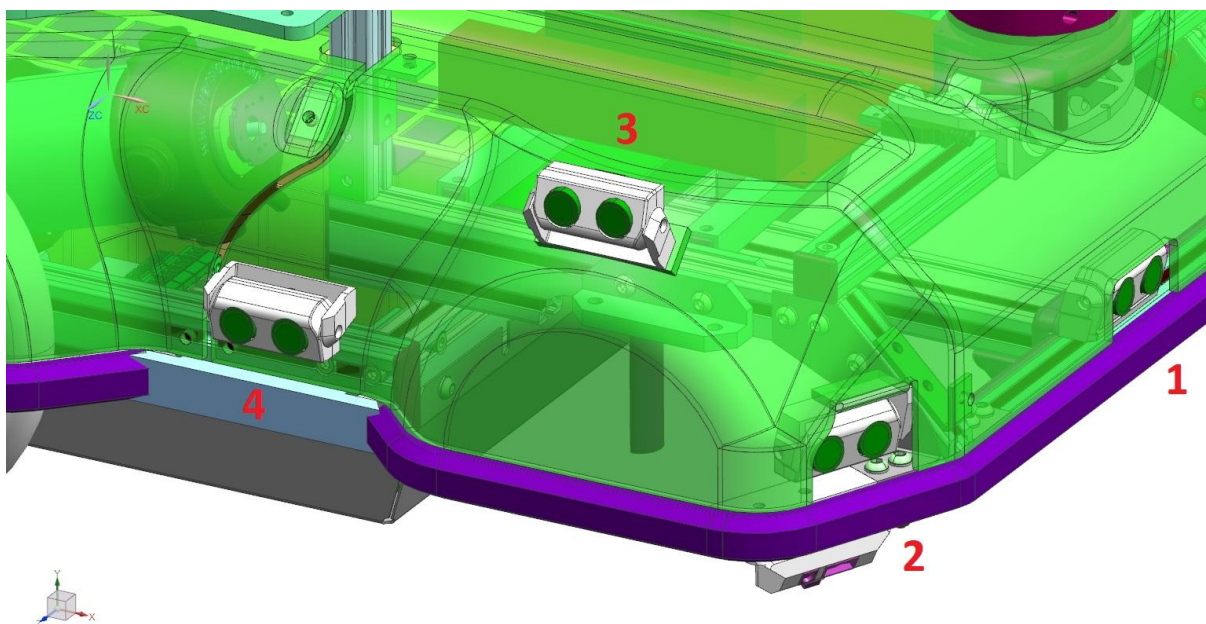
Na obrázku 14 lze vidět návrh, jakým by se dal přimontovat přední díl. Čísla a pohledy se shodují s obrázkem 11. Šroub číslo 1 by se dal přimontovat přímo ke stavebnicovému hliníkovému profilu podobně jako šrouby u zadního dílu. Šrouby 2 a 3 by se šroubovaly do pomocných plechových dílů. Závity do plechu by se daly realizovat s využitím technologie tvářecího vrtání. Plechové díly by byly přišroubovány ke stavebnicovému hliníkovému profilu opět s využitím upravených matic.



Obrázek 15

Na obrázku 15 lze vidět návrh, jakým by se dal přimontovat boční díl. Čísla a pohledy se shodují s obrázkem 12. Je to podobné jako u předního dílu. Šroub číslo 2 by se dal přimontovat přímo ke stavebnicovému hliníkovému profilu a šrouby 1, 3 a 4 by se šroubovaly do pomocných plechových dílů připevněným k hliníkovým profilům.

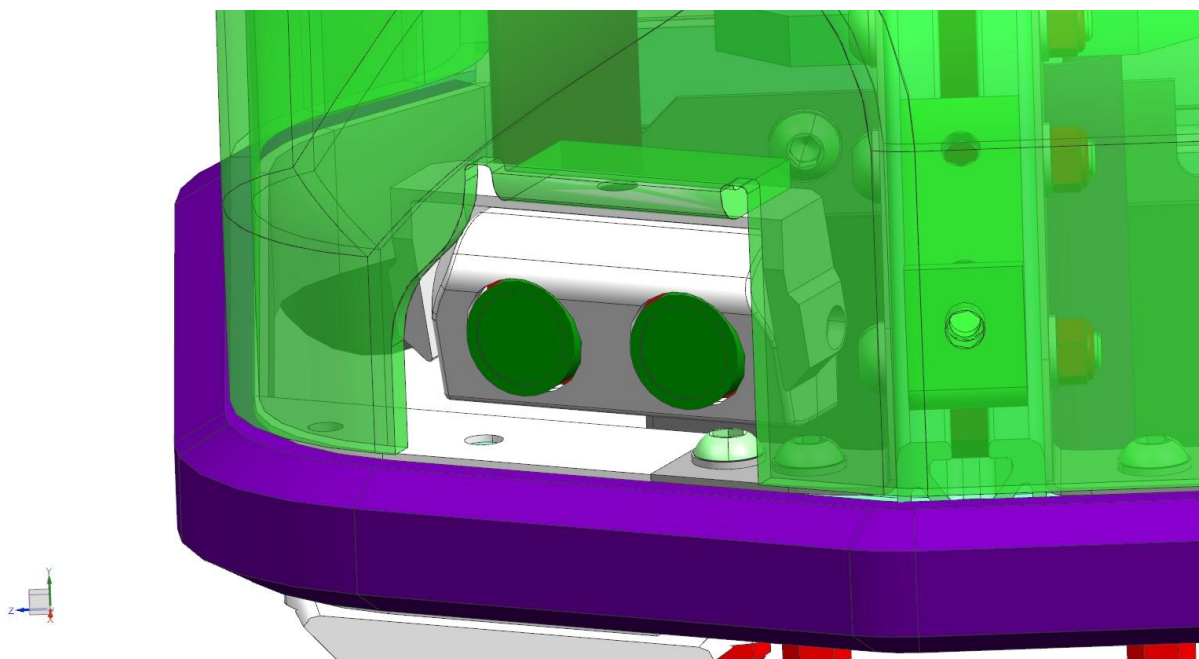
### ***Montáž ultrazvukových senzorů***



Obrázek 16

Na obrázku 16 lze vidět přední část robotu s navrženým umístěním ultrazvukových senzorů. Senzor 1 by se umístil na stavebnicový hliníkový profil a plášť by se vyříznul okolo.

Senzor 2 by už nebylo tak vhodné umístit na nárazník robotu, protože vyříznutí pláště okolo senzoru by zde bylo komplikovanější. Nebylo by ani vhodné umístit tento senzor na plášť z vnější strany, protože by přesahoval nárazníky. Proto jsem navrhnul řešení, které by ale bylo spíše vhodné pro plášť vyrobený z termoplastu.



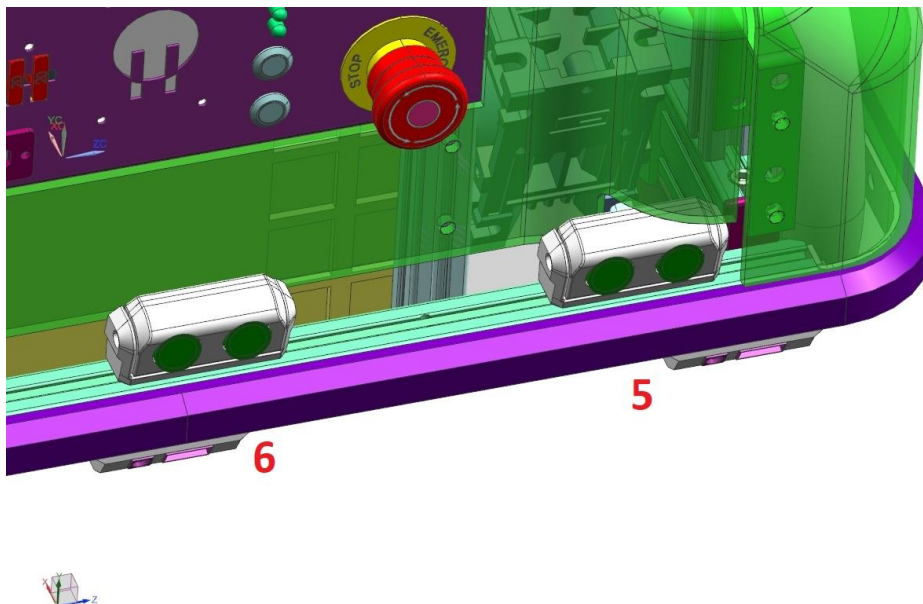
Obrázek 17

Toto řešení lze vidět na obrázku 17. K ohnutí termoplastu by se dal použít horkovzdušný fén. Je to pouze jedno z možných řešení a něco podobného by se v případě laminátového pláště pravděpodobně nedalo využít. Zde by se ale mohl pomocný dílek například přilepit.



Senzor číslo 3 by se dal přišroubovat z vnější strany na plášť s využitím vhodné podložky, protože povrch pláště je v daném místě kuželová plocha. V této poloze senzor ještě není dost vysoko, aby překážel v rozhledu lidarů.

Senzor číslo 4 by se dal z vnější strany přišroubovat na plášť bez větších komplikací na rovnou plochu.



Obrázek 18

Na obrázku 18 lze vidět zadní část robotu. Senzor 5 by se dal umístit na stavebnicový hliníkový profil na místo, na kterém je na obrázku 18. Ale pak by bylo nutné vyříznout okolo senzoru plášť. Nebo by se dal senzor 5 umístit blíže k senzoru 6 a potom by bylo umístění obou těchto senzorů bez komplikací.

Zbylé senzory jsou umístěny souměrně se senzory 2, 3, 4 a 5.

## ***Vyrobitelnost***

Tento tvar pláště byl navrhnout pro výrobu z laminátu, nebo výrobu vakuovým tvářením z plastové folie. Tyto technologie mají omezení, produkt těchto technologií musí mít takový tvar, aby ho bylo možné bez deformace sundat z kopyta. To je v tomto případě splněno. Pokud by bylo možné výrobek rozřezat ještě na kopytu, pak by mohl mít dokonce i tvar, který by se nedal bez deformace sundat, například lem zahnutý dovnitř.

## Technologie výroby

### *Rozvaha o cenách v závislosti na počtu vyrobených kusů*

Určit přesné ceny výroby tohoto pláště robotu s využitím jednotlivých technologií by bylo velmi komplikované z několika důvodů. Hlavním důvodem je, že se výrobní cena neustále mění podle situace. Jednotlivé firmy většinou určují tuto cenu podle různých hledisek. Například podle množství zakázek, které mají v danou chvíli, protože pokud má firma dlouhodobě dostatek práce, tak si může dovolit zvyšovat ceny. Cenu také může ovlivnit to, kdo firmě danou zakázku zadá. Cena výroby jednoho kusu se může také měnit podle velikosti zakázky. Existuje mnohem více podobných faktorů, které mohou ovlivnit cenu v rámci jedné firmy, a firem je velké množství s různým přístupem k těmto hlediskům, s různým vybavením a zaměřením. Zmíněná hlediska jsou ve skutečnosti mnohem složitější a v úvahu by se také mělo brát, že se mění například i ceny materiálů a energie. To je jen velmi zjednodušené vysvětlení toho, proč v této rozvaze o cenách nebudu počítat s úplně přesnými čísly, ale spíše s přibližným rozmezím možných cen.

Cena laminátového pláště by se dala odhadnout z ceny kopyta, ceny množství pryskyřice pro výrobu množství  $n$  kusů plášťů a ceny tkaniny potřebné pro výrobu  $n$  kusů plášťů. K této ceně je nutné přidat cenu vypočítanou z ceny celkové potřebné lidské práce, celkové ceny energie a ceny celkového strojního času pro výrobu kopyta a  $n$  kusů plášťů. Dále je ještě nutné zaplatit cenu, která bude tvořit zisk dané firmy, ale musejí se uvažovat i daně. Suma těchto částek vydělená počtem kusů plášťů  $n$  je cena za jeden plášť při počtu  $n$  kusů plášťů. Tato cena by postupně asymptoticky klesala s rostoucím  $n$  k ceně výroby jednoho pláště, ale pouze do doby, než by bylo nutné vyrobit nové kopyto. Cena kopyta závisí na zvoleném materiálu, z vhodných materiálů by to mohl být polystyren, umělé dřevo, přírodní dřevo, sádra, nebo hliník. Z těchto materiálů je pravděpodobně nejlevnější polystyrén a nejdražší hliník. Objem bloku, ze kterého by se dalo vyrobit potřebné kopyto je přibližně  $0,042\text{m}^3$ . Hmotnost takového bloku vyrobeného z hliníku o hustotě kolem  $2700\text{kg/m}^3$  [3] je přibližně  $114\text{kg}$ . Při ceně hliníku  $140\text{Kč/kg}$  [4] by vyšla cena takového bloku okolo  $16000\text{Kč}$ . Proto by se hliníkové kopyto vyplatilo spíše pro výrobu větší série plášťů. Cena polystyrenu je  $1100\text{Kč/m}^3$  [5], takže by cena potřebného polystyrenového bloku vyšla  $50\text{Kč}$ . Polystyren by se s touto cenou hodil pro malé série, ale pro větší série by nemusel být s jeho mechanickými vlastnostmi tak vhodný, protože by se muselo častěji měnit kopyto. Ceny skelné tkaniny jsou různé, například by mohla stát  $80\text{Kč/m}^2$ . Povrch pláště je okolo  $0,6\text{m}^2$ , ale je potřeba více vrstev tkaniny, takže cena tkaniny na jeden plášť může být okolo  $200\text{Kč}$  při počtu čtyř vrstev. Na plášť může být potřeba odhadem okolo  $0,8\text{kg}$  pryskyřice. Cena pryskyřice je  $320\text{Kč/kg}$  [6], takže cena pryskyřice na jeden plášť je asi  $260\text{Kč}$ .

S odhadem ceny 3D tisku by neměly být takové problémy. Tato cena závisí především na objemu použitého materiálu. Cena za jeden plášť vyrobený pomocí technologie 3D tisku při počtu  $n$  kusů by neměla být závislá na  $n$ . Pokud je povrch pláště odhadnut na  $0,6\text{m}^2$  a tloušťka pláště je zvolena  $4\text{mm}$ , pak bude objem pláště přibližně  $0,0024\text{m}^3$ . Hmotnost pláště, pokud je

hustota materiálu  $1050\text{kg/m}^3$  [7], je přibližně  $2,5\text{kg}$ . Cena jednoho kg materiálu pro 3D tisk je  $605\text{Kč}$  [8], takže celková cena materiálu potřebného pro výrobu jednoho pláště by byla  $1500\text{Kč}$ .

Při odhadu ceny plechového pláště by se dalo vyjít z ceny plechu za metr čtvereční a ceny řezu na metr. Povrch pláště je přibližně  $0,6\text{m}^2$  a obvod všech plechových dílů je přibližně  $9,2\text{m}$ , to bylo změřeno na plechovém návrhu. Kdyby byla cena řezání na metr okolo padesáti korun a cena plechu  $366\text{Kč/m}^2$  [9], tak by cena plechového pláště mohla být okolo  $680\text{Kč}$ . K této ceně by se ale ještě měla přičíst cena za další operace jako je ohýbání, vrtání a třeba srážení hran. I zde, podobně jako u laminátového návrhu, tímto způsobem nelze získat konečnou cenu, ale pouze předběžný orientační odhad, protože k této ceně je nutné například přidat cenu celkové potřebné lidské práce a cenu, která bude tvořit zisk dané firmy včetně daní. Cena za jeden plechový plášť při počtu  $n$  kusů plášťů by neměla být závislá na  $n$ . Pokud by ale měla být zakázka velká, pak by se mohlo vyplatit použít specializované střížné nástroje, jejichž vysoká cena by se dala rozdělit do velkého počtu vyrobených kusů plášťů. Potom by cena za jeden plášť při počtu  $n$  kusů s rostoucím počtem kusů  $n$  klesala asymptoticky přibližně k ceně plechu na výrobu jednoho kusu (s přičtenou cenou dokončovacích operací a dalších částek, které zde zanedbávám).

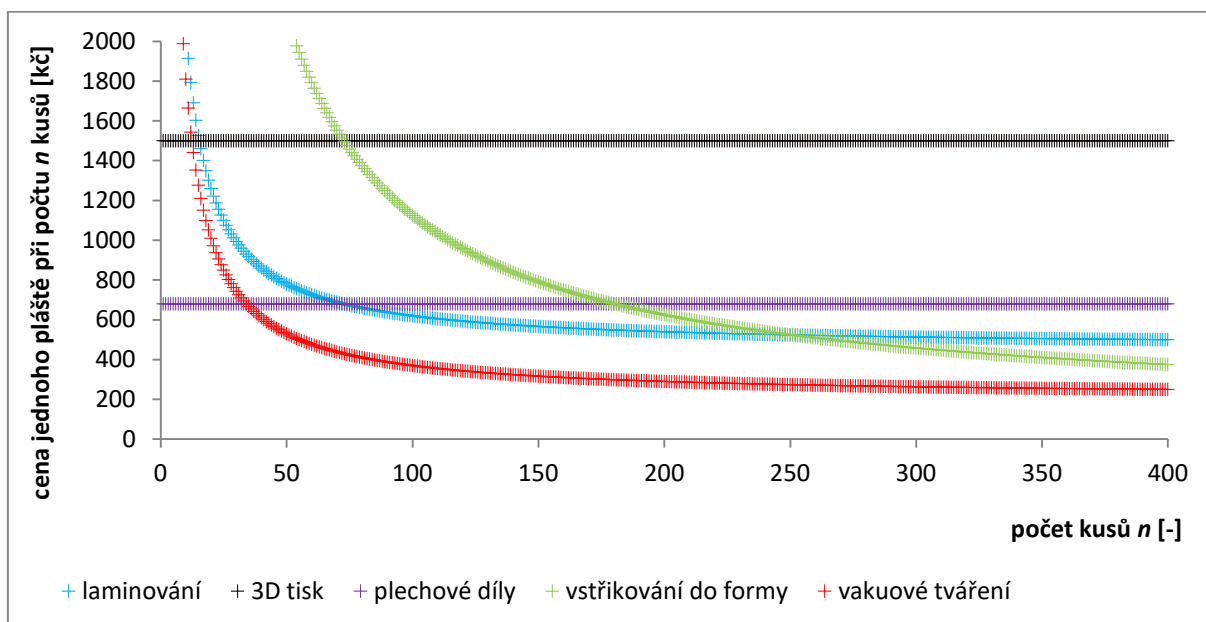
Přibližná cena výlisku z formy na vstřikování plastů by se dala určit z ceny formy a ceny materiálu. Podobně jako například u výpočtu ceny laminátového dílu by se skutečná cena počítala složitěji, ale v této práci se tím zabývat nebudu, protože tento výpočet má být pouze přibližný odhad. Cena formy závisí na její složitosti. Nejdražší plně automatické formy mohou mít cenu řádově v milionech, ale nejlevnější – prototypové formy mohou mít cenu při těchto rozměrech výlisků řádově pouze ve stovkách tisíc. Celý plášť by se pravděpodobně nevyráběl z jednoho kusu, ale z více kusů. Proto by bylo potřeba více forem, ale zato menších. Cena plastu je  $50\text{Kč/kg}$  [10]. Objem pláště je přibližně  $0,0024\text{m}^3$ . Hmotnost pláště bude  $2,5\text{kg}$  při hustotě  $1050\text{kg/m}^3$ . Cena materiálu na výrobu jednoho pláště bude  $125\text{Kč}$ . Cena jednoho pláště při počtu  $n$  kusů by postupně asymptoticky klesala s rostoucím  $n$  k ceně ne příliš vzdálené ceně materiálu jednoho pláště, ale přiblížila by se k ní až pokud by bylo  $n$  dostatečně velké.

Přibližnou cenu vakuově tvářeného pláště bych odhadl z ceny folie a ceny kopyta. Folie potřebná k tváření jednoho pláště má obsah asi  $0,75\text{m}^2$ . Cena folie o tloušťce  $5\text{mm}$  je  $283\text{Kč/m}^2$  [11]. Cena folie potřebné pro výrobu jednoho pláště je okolo  $210\text{Kč}$ . Přibližnou cenu kopyta vyrobeného například z hliníku bych určil podobným způsobem, jako cenu kopyta pro laminování. Kopyto z hliníku by bylo poměrně drahé, pouze materiál by stál okolo  $16000\text{Kč}$ , ale bylo by možné zvolit i jiný materiál. Použití polystyrenu pro kopyto by ale v tomto případě na rozdíl od laminování bylo velmi nevhodné. Dále by se ještě měla připočítat cena za odříznutí odpadního lemu po tváření, za rozřezání produktu vakuového tváření na jednotlivé díly pláště, za vyvrtání děr a úpravu okrajů dílů. Tento výpočet je ale pouze přibližný a další faktory, které mají vliv na výslednou cenu, v tomto výpočtu uvažovat nebudu. Cena jednoho pláště při počtu  $n$  kusů by podobně jako například u laminování postupně asymptoticky klesala s rostoucím  $n$  k ceně ne příliš vzdálené ceně folie potřebné pro výrobu jednoho pláště.

Z těchto zjednodušených výpočtů a vyhledaných údajů jsem sestavil graf závislosti ceny jednoho pláště při počtu  $n$  kusů na počtu kusů  $n$  (Graf 19). Hodnoty v grafu nejsou přesné, protože vycházejí především pouze z cen materiálů. Skutečné ceny by byly pravděpodobně o něco vyšší. Z těchto přibližných grafů lze ale i tak získat orientační představu o cenách různých výrobních technologií. Graf končí na hodnotě  $n$  400 plášťů, ale určitě by mohl i pokračovat.

Průběhy grafů by dále už nebyly tak zajímavé, pouze při vyšších hodnotách  $n$  by se stala technologie vstřikování plastů do formy nejlevnější technologií.

Ceny laminátového pláště při počtu  $n$  kusů byly počítány pro použití hliníkového kopyta. Kdyby bylo použito například polystyrenové kopyto, tak by byly nízké ceny laminátového pláště i při malých hodnotách  $n$ . Hodnoty cen technologií 3D tisku a zpracování plechů jsou v grafu konstantní, ale u reálných cen by se možná dala vyjednat i množstevní sleva. Z grafu lze vidět, že by se použití formy na vstřikování plastů mohlo vyplatit až při vyšších sériích kolem 250 kusů a více. Podobně jako u laminování by se i u vakuového tváření dalo použít levnější kopyto, ne však polystyrenové.



Graf 19

## Doba výroby

Doba výroby jednoho kusu je problém, který se vyplatí řešit až při vyšších sériích.

Laminování se pro velké série příliš nehodí, protože je obtížné ho automatizovat. Některé úkony se dělají ručně, jako například nanášení tkaniny a pryskyřice. Proto laminování není technologie, která by byla schopná vyrobit plášť za krátkou chvíli. Dlouhou dobu zabere i tvrdnutí pryskyřice, při kterém není možné používat obsazené kopyto. Pokud by se měl využít čas tvrdnutí jednoho pláště k výrobě dalšího pláště, tak by bylo nutné mít další kopyto.

3D tisk je poměrně zdlouhavý, i přes to že je plně automatický. Produktivita 3D tisku by se pravděpodobně dala zvýšit pouze tak že by se výrobky tiskly paralelně na více 3D tiskárnách.

Řezání tenkého plechu laserem může být poměrně rychlé, ale další operace s plechovými díly jako ohýbání, vrtání děr a úprava hran mohou trvat déle, pokud se dělají ručně s použitím univerzálních nástrojů. Řezání by se u vyšších sérií dalo nahradit například postupovým stříháním, které by bylo velmi produktivní. Podobně i ohýbání by se dalo alespoň částečně automatizovat a tím by se dal urychlit výrobní proces.

Použití prototypové formy na vstřikování plastu by vyžadovalo ruční montáž i demontáž formy při lisování každého dílu a to by výrobní proces prodlužovalo. I tak by to ale mohla být poměrně produktivní výrobní metoda. Pro velmi velké série by se mohlo vyplatit použití dražších automatických forem, jejichž výrobní produktivita by téměř neměla konkurenci.

Samotné vakuové tváření plastové folie je poměrně rychlý proces, jehož produktivita by se dala ještě zvětšit zvýšením počtu kopyt. Odstranění odpadního lemu by u vyšších sérií mohlo být automatické s využitím střížného nástroje, ale u malosériové výroby by se spíše dělalo ručně. Dále by se ještě musel rozřezat produkt vakuového tváření na jednotlivé jednoduše k robotu přimontovatelné díly, musely by se vyvrtat díry pro šrouby a musely by se upravit hrany. Tyto úkony by prodlužovaly dobu výroby.

## Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá designem a konstrukcí vnějšího pláště mobilního robota.

První část práce popisuje různé technologie, kterými by se dal vyrobit plášť robota. Tyto technologie jsou laminování, 3D tisk, zpracování plechů, vstřikování plastu do formy a vakuové tváření plastové folie. Jsou zde popsány především možnosti a omezení daných technologií a jejich princip.

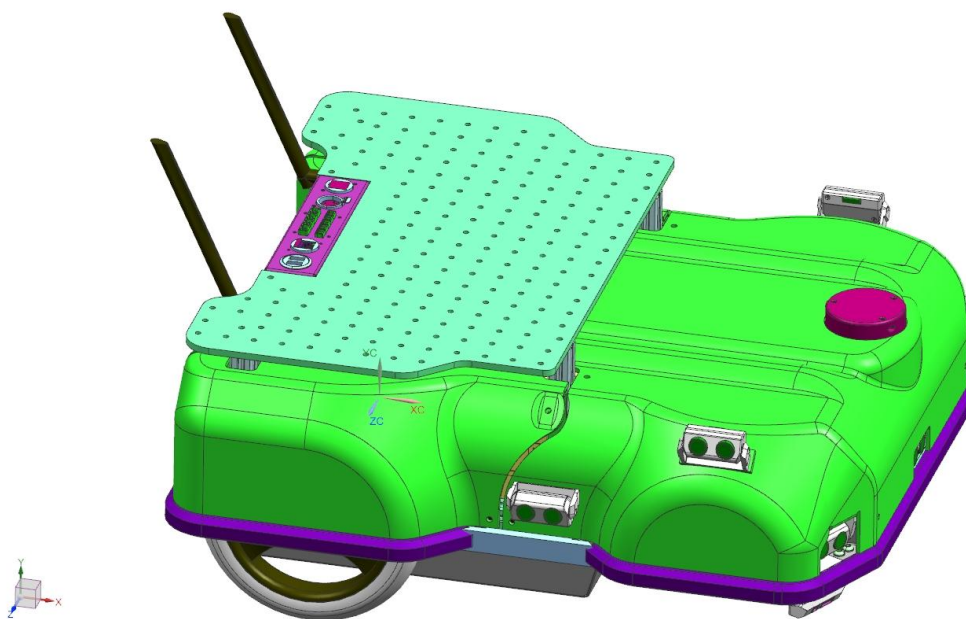
V druhé části práce je variantní studie designu obsahující tři koncepční návrhy možných tvarů pláště. Tyto tvary jsou částečně předem určeny tvarem a rozmístěním dalších součástí robota. Modely těchto návrhů jsou v příloze práce ve formátu STEP.

Třetí část práce obsahuje výpočet výsledné teploty vzduchu v závislosti na celkovém průřezu větracích otvorů. Tento výpočet byl proveden pomocí Octavu. Skript s tímto výpočtem je v příloze práce. Pokud má být teplota vzduchu pod pláštěm robota menší než  $50^{\circ}\text{C}$  při zadaném celkovém ztrátovém výkonu vnitřních součástí robota  $179,2\text{W}$ , tak by měl být podle výpočtu celkový průřez větracích otvorů větší než  $55\text{cm}^2$ .

Čtvrtá část práce obsahuje konstrukční řešení. Toto řešení vychází ze zvoleného koncepčního tvaru, z výsledků výpočtu teplotní bilance a ze zvolené technologie výroby. Zvolená technologie výroby je laminování, nebo vakuové tváření plastové folie. Zvolený koncepční tvar je první návrh. Součástí konstrukčního řešení je návrh montáže pláště a montáže ultrazvukových senzorů. Model výsledného pláště je v příloze ve formátu STEP.

Navržený plášť, který lze vidět na obrázku 20, splňuje zadané požadavky. Nepřesahuje nárazníky, nebrání lidarů v rozhledu do všech úhlů, brání nepovolanému člověku dostat se jednoduše k vnitřním součástem robota, má dostatečně velký větrací otvor, zakrývá zadní kola, může být snadno přimontován k robotu, může být snadno odmontován, umožňuje přimontování všech ultrazvukových senzorů a je vyrobitelný bez komplikací zvolenou technologií.

V poslední části práce je rozvaha o cenách výroby jednoho pláště různými technologiemi v závislosti na počtu vyrobených kusů.



Obrázek 20

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Vzduch | Fyzikální a chemické vlastnosti vzduchu. *conVERTER - převody jednotek* [online]. Copyright © 2000 Jiří Bureš [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm>
- [2] Stavba | *stavba.tzb-info.cz* [online]. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybanych-stavebnich-materialu>
- [3] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2007. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 978-80-7196-345-5.
- [4] Ploché a čtvercové hliníkové tyče - plocháče, hranoly. *Hliníkové profily, hliníkové plechy e-shop* [online]. Copyright © 2019 Hliníkové profily, hliníkové plechy [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/ploche-a-ctvercove-hlinikove-tyce-plochace-hranoly/kat-K300000101.html>
- [5] Levný-Polystyren.cz | *Levný-Polystyren.cz* / [online]. Copyright © 2012 LevnýPolystyren.cz [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <http://www.levny-polystyren.cz/>
- [6] E-barvy.com | *E-barvy.com* / [online]. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <http://www.e-barvy.com/0,270,Epoxidova-pryskyrice-1200-10-kg.html>
- [7] ABS tiskový materiál a jeho další varianty. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. Copyright © Materialpro3d.cz, všechna práva vyhrazena [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/abs/>
- [8] ABS-T tisková struna oranžová 1,75 mm 1 kg Filament PM - Materialpro3d.cz. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. Copyright © Materialpro3d.cz, všechna práva vyhrazena [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/abs-t/abs-t-filament-oranzovy-1-75-mm-pm/>
- [9] Pozinkovaný plech | Kondor.cz. *Hutní materiál, Kondor* [online]. Copyright © 2013, KONDOR, s.r.o. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/pozinkovany-plech/c-1534/>
- [10] Ceny-polymerů | plasticportal.cz [online]. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/ceny-polymeru/lm/7/>

- [11] Lehčené PVC Palfoam 5mm 3050x2030mm | Dencop.cz. *DENCOP LIGHTING spol s r.o. | eshop s materiály a komponenty pro signmaking a stavebnictví* [online]. [cit. 09.05.2019]. Dostupné z:  
<https://eshop.dencop.cz/lehcene-pvc-palfoam-5mm-3050x2030>



## Seznam obrázků a grafů

Obrázek 1.....	9
Obrázek 2.....	16
Obrázek 3.....	17
Obrázek 4.....	18
Obrázek 5.....	19
Graf 6.....	23
Graf 7.....	26
Graf 8.....	26
Obrázek 9.....	28
Obrázek 10.....	29
Obrázek 11.....	29
Obrázek 12.....	30
Obrázek 13.....	30
Obrázek 14.....	31
Obrázek 15.....	31
Obrázek 16.....	32
Obrázek 17.....	32
Obrázek 18.....	33
Graf 19.....	36
Obrázek 20.....	38

## Seznam příloh

Skript napsaný v Octavu – první část výpočtu

Skript napsaný v Octavu – druhá část výpočtu

Skript napsaný v Octavu – porovnání obou částí výpočtu

Skript napsaný v Octavu – rovnice 23

Modely koncepčních návrhů ve formátu STEP

Model výsledného pláště ve formátu STEP

Model kopyta pro laminování/vakuové tváření ve formátu STEP